



# Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

---

## Organização:

- Maria Carolina Villaça Gomes
- 





# Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

---

## **Organização:**

- Maria Carolina Vilaça Gomes

---

MOSSORÓ- RN, 2026.

# UERN



**Universidade do Estado do Rio Grande do Norte**

**Reitora**

Cicília Raquel Maia Leite

**Vice-Reitor**

Francisco Dantas de Medeiros Neto

**Diretor da Editora Universitária da Uern (Eduern)**

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

**Chefe do Setor Executivo da Editora Universitária da Uern (Eduern)**

Jacimária Fonseca de Medeiros

**Chefe do Setor de Editoração da Editora Universitária da Uern (Eduern)**

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

**Conselho Editorial das Edições UERN**

Andreza Tacyana Félix Carvalho

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Franklin Roberto da Costa

Fernanda Abreu de Oliveira

Gleisson do Carmo Oliveira

Ismênia Gurgel Martins

Jacimária Fonseca de Medeiros

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Maria Ione da Silva

Otoniel Fernandes da Silva Júnior

Patrícia Batista Barra

Kalidia Felipe de Lima

Saulo Gomes Batista

Sérgio Luiz Pedrosa Silva

**Capa e Diagramação**

Gabriela Mabel Alves Vieira

**Catálogo da Publicação na Fonte.  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão-Vol. X [recurso eletrônico]. / Maria Carolina Villaça Gomes (org.). – Mossoró, RN: Edições UERN, 2026.

76 p.

ISBN: 978-85-7621-580-6 (E-book).

Coleção: Geomorfologia do Brasil.

1. Risco Geomorfológico. 2. Processos geomorfológicos. 3. Geomorfologia - Brasil. I. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. II. Título.

UERN/BC

CDD 551.4

Bibliotecário: Aline Karoline da Silva Araújo CRB 15/ 783

# Sumário:



## APRESENTAÇÃO.....

05

### 1. PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS – O CASO DE SANTA MARIA/RS

Romario Trentin;  
Luís Eduardo de Souza Robaina;  
Andrea Valli Nummer;  
Rinaldo José Barbosa Pinheiro.

07

### 2. VULNERABILIDADE SOCIAL AOS RISCOS NATURAIS URBANOS: UM GRANDE DESAFIO PARA OS MUNICÍPIOS DA REGIÃO DAS PALMES NO HAITI

Bennson Sauveur;  
Romario Trentin.

23

### 3. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS COM RISCO À INUNDAÇÃO BASEADO NA ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO BOACICA – AL

Rafaella Silva Leal;  
Raimundo Ferreira da Silva Sobrinho;  
Thais Silva de Souza;  
David Luiz do Nascimento Santos;  
Milena Dutra da Silva;  
Nadjacleia Vilar Almeida.

35

### 4. APLICAÇÕES DO SOFTWARE IBER NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PROPENSAS À INUNDAÇÃO

Anderson Augusto Volpato Scoti;  
Romario Trentin;  
Susana da Silva Pereira;  
Luis Eduardo de Souza Robaina;  
Carlos Valdir de Meneses Bateira.

50

### 5. EFEITOS DO FOGO NA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO EM FLORESTA DEGRADADA: SUBSÍDIOS PARA ESTUDOS DE DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS, NOVA FRIBURGO-RJ

Letícia Bolsas;  
Ana Luiza Coelho Netto;  
Vitória de Brito Pereira.

63



## Geomorfologia do Brasil

# Apresentação

A **Coleção Geomorfologia do Brasil**, editada pela Edições Uern - EDUERN, reúne contribuições de pesquisadores e pesquisadoras de diferentes regiões do país que apresentaram seus trabalhos no XV Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado em Natal (RN), entre os dias 4 e 8 de agosto de 2025.

Composta por 14 volumes temáticos, a coleção expressa a diversidade e a vitalidade da produção científica brasileira em Geomorfologia, contemplando desde abordagens clássicas até perspectivas inovadoras que integram novas tecnologias, análises ambientais e dimensões sociais da paisagem. Cada livro reflete o compromisso coletivo de fortalecer e divulgar o conhecimento geomorfológico produzido no Brasil, promovendo diálogo entre diferentes áreas e instituições.

### ... OS VOLUMES QUE COMPÕEM A COLEÇÃO SÃO:



#### 1. Intemperismo, Solos e Paisagem

organizado por Davi do Vale Lopes (UFRN)



#### 2. Processos e Formas de Vertente

organizado por Grace Bungenstab Alves (UFBA)



#### 3. Geomorfologia Fluvial e Lacustre

organizado por José Yure Gomes dos Santos (UFRN)  
e Filipe da Silva Peixoto (UERN)



#### 4. Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica

organizado por Antônio Rodrigues Ximenes Neto (UFRN)



#### 5. Geomorfologia de Áreas Cársticas

organizado por Luiz Eduardo Panisset Travassos (PUC-MG)



#### 6. Geomorfologia Estrutural

organizado por Abner Monteiro Nunes Cordeiro (UFRN)



#### 7. Geomorfologia Ambiental

organizado por Glairton Cardoso Rocha (IFPI)



## 8. Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia

organizado por Kleber Carvalho Lima (UPE)  
e Everton Vinicius Valezio (UPE)



## 9. Mapeamento Geomorfológico: Básico e Aplicado

organizado por Rosangela Garrido Machado Botelho (IBGE)



## 10. Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

organizado por Maria Carolina Villaça Gomes (UERJ)



## 11. Antropoceno e Geomorfologia Urbana

organizado por Guilherme Borges Fernandez (UFF)  
Miguel Felipe (UFJF)  
e Maria Luíza de Oliveira Terto



## 12. Geodiversidade e Patrimônio Geomorfológico

organizado por Thiara Oliveira Rabelo (UFRN)  
e Luciana Martins Freire (UFPA)



## 13. Geotecnologias e Inteligência Artificial Aplicadas à Geomorfologia

organizado por Paulo Victor do Nascimento Araújo (IFRN)  
e Sílvio Braz de Sousa (UFRN)



## 14. Ensino de Geomorfologia na Educação Formal e Não Formal

organizado por Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque (UFDFPar)  
e José Falcão Sobrinho (UVA)

Mais do que uma coletânea de textos, esta coleção constitui um registro histórico da consolidação da geomorfologia brasileira em múltiplas frentes — teórica, metodológica e aplicada. Esperamos que cada volume inspire novas leituras do relevo, novas formas de pensar a paisagem e novos caminhos de pesquisa comprometidos com a compreensão das dinâmicas da superfície terrestre.

**Desejamos a todos uma excelente leitura!**

*Jacimária Fonseca de Medeiros, Thaís Guimarães,  
e Marco Túlio Mendonça Diniz*

Organizadores da Coleção Geomorfologia do Brasil



# PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RISCOS – O CASO DE SANTA MARIA/RS

Romario Trentin <sup>1</sup>

Luís Eduardo de Souza Robaina <sup>2</sup>

Andrea Valli Nummer <sup>3</sup>

Rinaldo José Barbosa Pinheiro <sup>4</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Desastres, Mapeamento de Risco, Participação Comunitária.

## RESUMO

Os riscos correspondem a situações em que a ameaça de ocorrência de um determinado evento, seja ele natural ou tecnológico sobre um grupo de indivíduos vulneráveis pode resultar em perdas de vida, danos materiais, sociais, econômicos ou ambientais. A participação de profissionais da geomorfologia ocorre em todo o desenvolvimento do Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR), que é um documento estratégico elaborado em nível municipal, com o objetivo de identificar, prevenir e mitigar os riscos relacionados a desastres naturais e outros eventos adversos. Envolve o mapeamento de áreas vulneráveis, a avaliação de ameaças (inundações, deslizamentos e outros processos) e o planejamento de ações que possam mitigar ou sanar os riscos a fim de proteger as comunidades. Santa Maria situa-se na região central do estado do Rio Grande do Sul, com população superior a 270 mil habitantes e cerca de 80% residente na área urbana. Geomorfológicamente situa-se entre os contrafortes do Planalto e a Depressão Periférica, com declividades médias superiores a 30% e altitudes de 438m na região do Rebordo. Junto às drenagens, que cortam a área urbana, há áreas de acumulação, com depósitos sedimentares de planícies, de canal e terraços. Os processos causadores de risco são inundações/alagamentos, sendo os mais significativos; erosões e escorregamento associados à ocupação das margens dos arroios e os escorregamentos e queda de blocos nas encostas dos morros. Dessa forma, foram definidas as seguintes áreas para o PMRR: Bairro Urlândia: Vilas Urlândia e Santos (região sul); Bairro Noal: Vilas Lídia (região centro-oeste); Bairro Salgado Filho e Carolina: Beco do Guarani (região norte); Bairro João Goulart: Vila Schirmer e Residencial Km3 (região nordeste); Bairro Itararé: Vila Canário (região nordeste), Vila Bela Vista (região nordeste), Vila Bürger (Montanha Russa) (região nordeste) e Vila Nossa Senhora Aparecida (Churupa) - (região nordeste) que estão localizadas na Figura 1. O diagnóstico e a descrição dos setores que estão sob ameaça de processos de encosta foram avaliados a partir da caracterização da encosta, da água presente na encosta e de indicativos de movimentos. A identificação e o mapeamento dos riscos hidrológicos foram determinados a partir da identificação das áreas ocupadas com possibilidade de

<sup>1</sup> Professor doutor em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, [romario.trentin@gmail.com](mailto:romario.trentin@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor doutor em Geologia da Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, [lesrobaina@yahoo.com.br](mailto:lesrobaina@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Professora doutora em Geologia da Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, [a.nummer@gmail.com](mailto:a.nummer@gmail.com)

<sup>4</sup> Professor doutor em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria- UFSM, [rinaldo@ufsm.br](mailto:rinaldo@ufsm.br)



danos por processos hidrológicos, inundação/enxurradas/alagamentos. A construção dos índices de vulnerabilidade representa a propensão dos elementos expostos, como seres humanos, seus meios de subsistência e ativos, em sofrer efeitos adversos quando impactados por um perigo ou ameaça. A cartografia colaborativa é uma etapa muito importante e ocorre por meio de oficinas onde os membros da comunidade podem delinear as áreas de conflitos dos processos hidrológicos e geológico e outras características consideradas importantes. As informações fornecidas pelo mapa de risco correspondem à estimativa de dano potencial do sistema que pode ser afetado por um perigo com certa magnitude e é obtido com base na combinação do perigo e da vulnerabilidade. A setorização do Risco Alto e Muito Alto orienta o comitê gestor de risco municipal na tomada de decisões e na busca de recursos para a elaboração das obras de mitigação apresentadas para cada uma das comunidades.

## INTRODUÇÃO

Santa Maria está, geograficamente, situada na região central do estado do Rio Grande do Sul, com uma população superior a 270 mil habitantes (IBGE 2022), dos quais cerca de 80% residem na área urbana. A zona urbana está construída sobre o interflúvio que divide as sub-bacias hidrográficas do Vacacaí-Mirim e Arroio Cadena (Figural).

Nessa região, segundo o Departamento Nacional de Meteorologia, as médias pluviométricas oscilam entre 1.300 e 1.800mm anuais. A distribuição das chuvas dá-se de forma equilibrada durante todo o ano, sem estações chuvosas ou secas, porém, é durante os meses de inverno que são registrados os maiores índices pluviométricos.

Geomorfologicamente, Santa Maria encontra-se situada entre os contrafortes do Planalto e a Depressão Periférica, mostrando perfis íngremes, com declividades médias superiores a 30% e altitudes de 438m na região do Rebordo, e um relevo levemente ondulado, representado por colinas de forma alongada com altitudes de 150m. Junto às drenagens, há áreas de acumulação, com depósitos sedimentares de planícies de inundação, de canal e terraços.

A geologia da área urbanizada está, predominantemente, representada pelas Formações Santa Maria e Caturrita (MACIEL FILHO, 1990). A primeira é composta por um substrato com sequência de siltitos argilosos e arenitos argilosos estratificados. Essa formação é dividida entre os membros Alemoa, lamítico com minerais do grupo das esmectitas e com presença de fósseis de répteis, e o Passo das Tropas, um conjunto de siltitos e arenitos. A sequência lamítica é uma unidade com baixa permeabilidade. A Formação Caturrita é constituída por arenitos finos a médios, intercalados por camadas de siltitos, podendo ainda ser dividida em duas fácies: uma arenosa e outra argilosa e síltica. Na região do Rebordo, ao norte, encontra-se material de tálus e colúvio (sedimentos arenosos, argilosos e matações areníticos e basálticos), bem como

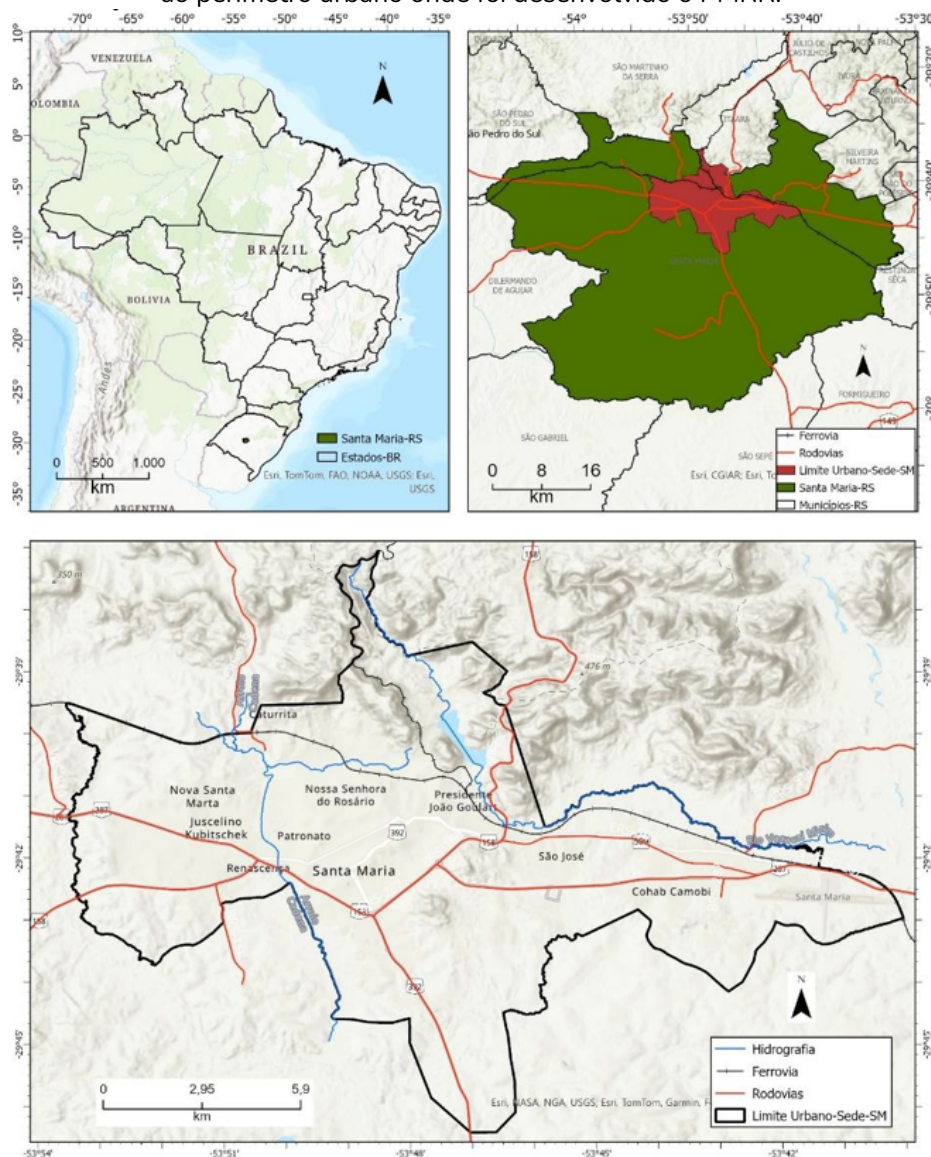


a Formação Botucatu (arenito eólico). Finalmente, tem-se a Formação Serra Geral, composta por um substrato rochoso vulcânico (basalto, dacitos e riolitos) em várias sequências de derrame.

O território urbano de Santa Maria tem sua formação ligada, principalmente, aos usos militar, ferroviário, universitário e corporativo, coexistindo e atuando na formação territorial e socioespacial da cidade ao longo do processo histórico. Spode (2020) identifica os usos da terra urbana como formas espaciais, dotadas de conteúdo que exercem influência na realidade socioespacial urbana de Santa Maria. Três dessas formas espaciais merecem destaque para a empirização da privação social no território: os trilhos da ferrovia, o Arroio Cadena e o Morro Cechella.

Assim sendo, o presente trabalho visa apresentar os principais resultados do Plano Municipal de redução de risco do município de Santa Maria/RS.

**FIGURA 1** – Mapa de localização do município de Santa Maria-RS com destaque ao perímetro urbano onde foi desenvolvido o PMRR.





## **METODOLOGIA**

As práticas de redução do risco de desastres precisam ser inclusivas e acessíveis para que possam tornar-se eficientes e eficazes ((UNISDR, 2015, p.5). Conforme Santos et al. (2005), ela deve considerar o sujeito como parte ativa do conhecimento construído na ação de uma coletividade humana sobre o seu ambiente ao longo do tempo e, como tal, fonte de conhecimento da realidade, dando importância ao diálogo com o saber popular e comunitário, em um ambiente de trocas e de promoção da participação.

Os trabalhos de análise de risco iniciam com diálogo com as comunidades, estabelecendo um ambiente de troca do conhecimento dando ênfase ao saber popular e comunitário. As atividades de campo foram apoiadas pelo emprego de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), aerolevantamentos por veículo aéreo não tripulado (VANT) e receptores GNSS para a aquisição precisa de coordenadas geográficas. O ortomosaico das áreas de estudo foram gerados a partir de um aerolevanteamento realizado com um VANT modelo DJI Mavic Air 2, programado para capturar imagens com sobreposição frontal de 80% e lateral de 75%, a uma altitude de voo de 150 metros.

O quadro 1 apresenta os elementos analisados das encostas e das áreas sujeitas a processos hidrológicos, além das características para definir a vulnerabilidade. A indicação das variáveis analisadas para definição de Perigo, se baseou em diferentes estudos (Zaidan, Fernandes, 2009; Brito, Weber, Krigger, Leitzke, 2016; Hamza, et al., 2020, Knierin, Robaina, 2023; Ribeiro et al., 2025). A avaliação da Vulnerabilidade da população em Perigo, se baseia em informações sobre quem e o que são vulneráveis (Brito, Evers, Almoradie, 2018; Menezes, Trentin, Robaina, 2021; Trentin, Robaina, Avila, 2019; Santos, et al. 2022). O zoneamento do perigo e da vulnerabilidade da população permitiu classificar em três graus: baixo, médio e alto.

O risco foi determinado a partir dos dados obtidos para o perigo e vulnerabilidade e apresenta, como resultado, a interação entre as duas variáveis (Tominaga, 2015). O risco foi determinado pelo cruzamento do perigo e da vulnerabilidade com 4 graus: baixo, médio, alto e muito alto (Quadro 2).



**QUADRO 1:** Variáveis utilizadas nas análises para determinação do grau de perigo e de vulnerabilidade.

<b>PERIGO</b>	<b>PROCESSOS DE ENCOSTA</b>	Altura da encosta
		Inclinação
		Tipo de encosta (natural rochoso; colúvio; corte, aterro)
		Evidências de movimentos
		Ocorrência de blocos expostos
		Presença de água (surgência; água servida; vazamentos)
		Distância das moradias
	<b>PROCESSOS HIDROLÓGICOS</b>	Distanciamento das estruturas residenciais em relação aos cursos d'Água (<15m; 15 a 30m; >30m)
		Frequência de eventos,
		Altura das cheias
Permanência das águas		
<b>VULNERABILIDADE</b>	Problemas na drenagem urbana	
	Densidade de moradias	
	Padrão urbano (tamanho, material, acabamento)	
	Infraestrutura urbana (rede de água; redes de esgotamento; coleta de resíduos)	

**QUADRO 2:** Condições de perigo e vulnerabilidade que definem os 4 graus de risco.

<b>GRAUS DE RISCO</b>	<b>VARIÁVEIS DE PERIGO E VULNERABILIDADE</b>
<b>RISCO BAIXO</b>	Correspondem às áreas com classe de perigo e vulnerabilidade baixa
<b>RISCO MÉDIO (R2)</b>	Corresponde às áreas com classes de perigo alto com vulnerabilidade baixa ou perigo médio com vulnerabilidade média ou alta
<b>RISCO ALTO (R3)</b>	Corresponde às áreas com classes de perigo alto com vulnerabilidade média
<b>RISCO MUITO ALTO (R4)</b>	Corresponde às áreas com classes de perigo alto com vulnerabilidade alta

Com as definições dos graus de risco, foram definidos os setores de risco alto (R3) e risco muito alto (R4) para as seis regiões do perímetro urbano analisado. Os setores de risco correspondem ao conjunto de edificações que se encontram em um mesmo grau de risco associado ao mesmo tipo de processo.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas as situações de risco em seis regiões do perímetro urbano de Santa Maria, com análise dos processos relacionados a inundações, erosão de margem e movimento de massa. As situações de risco de processos hidrológicos foram identificados na região do bairro Urlândia, atingindo as comunidades da vila Urlândia e Santos, na região dos bairros Passo das Tropas e Noal atingindo as vilas Lídia, Arco-Íris, Chaminé e Babilônia, a região dos bairros Salgado Filho e Carolina atingindo a vila Beco do Guarani, a região do bairro João Goulart atingindo as vilas Schirmer e Km3 e, a região do bairro Km Três atingindo a vilas Bibibiu e Favarin.

As situações de risco de processos geológicos de erosão de margem foram identificados na região do bairro Urlândia, atingindo as comunidades da vila Urlândia e Santos, na região dos bairros Passo das Tropas e Noal atingindo as vilas Lídia, Arco-Íris, Chaminé e Babilônia, a região dos bairros Salgado Filho e Carolina atingindo a vila Beco do Guarani e a região do bairro João Goulart atingindo as vilas Schirmer e Km3. As situações de risco de processos geológicos de movimento de massa foram identificados na região do bairro João Goulart atingindo as vilas Schirmer e Km3, na região do bairro Km Três atingindo a vila Bibibiu e na região do bairro Itararé atingindo as vilas Canário, Bela Vista, Burger e Churrupa.

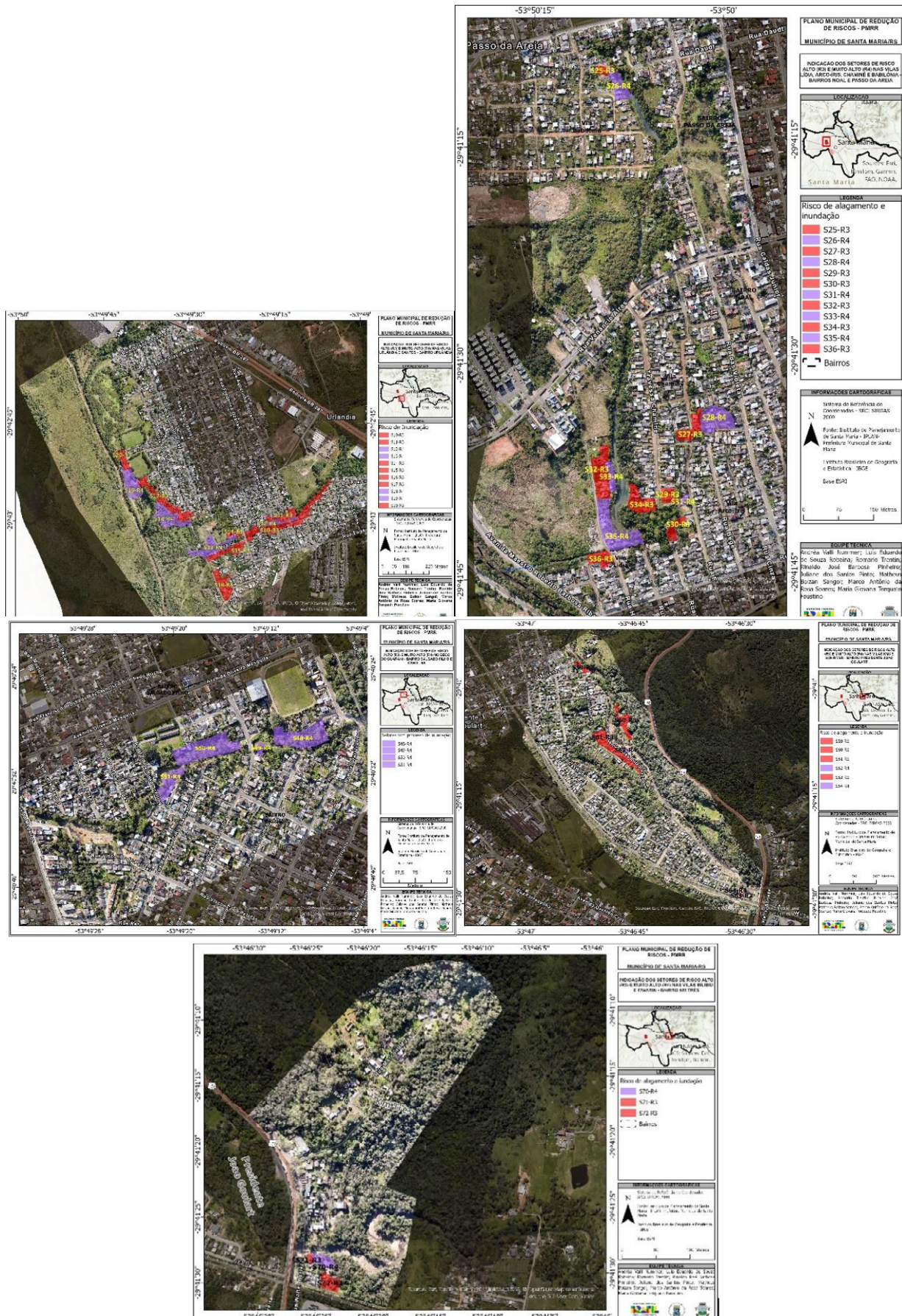
A figura 2 apresenta os mapas dos setores de risco alto e muito alto das cinco regiões com processos hidrológicos de inundação/alagamentos. O quadro 3 apresenta a síntese dos setores de risco alto e muito alto associados aos processos hidrológicos nas cinco regiões mapeadas em Santa Maria/RS.

**QUADRO 3:** Setores de risco alto e muito alto associado a inundação/alagamento

<b>SETOR Nº</b>	<b>GRAU DE RISCO</b>	<b>Nº EDIFICAÇÕES</b>	<b>BAIRRO/LOCALIDADE</b>	<b>PROCESSO</b>
10	R3	33	Urlândia/Vila Santos	Inundação/alagamento
11	R3	16	Urlândia/Vila Urlândia	Inundação/alagamento
12	R4	05	Urlândia/Vila Urlândia	Inundação/alagamento
13	R4	19	Urlândia/Vila Urlândia e Santos	Inundação/alagamento
14	R3	07	Urlândia/Vila Urlândia	Inundação/alagamento
15	R3	17	Urlândia/Vila Santos	Inundação/alagamento
16	R3	14	Urlândia/Vila Santos	Inundação/alagamento
17	R3	39	Urlândia/Vila Urlândia	Inundação/alagamento
18	R4	31	Urlândia/Vila Urlândia	Inundação/alagamento
19	R4	05	Urlândia/Vila Urlândia	Inundação/alagamento
20	R3	17	Urlândia/Vila Urlândia	Inundação/alagamento
25	R3	03	Passo da Areia/Vila Babilônia	Inundação
26	R3	06	Passo da Areia/ Vila Babilônia	Inundação
27	R3	06	Noal/ Vilas Arco-Íris e Chaminé	Inundação
28	R4	11	Noal/ Vilas Arco-Íris e Chaminé	Inundação
29	R3	05	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
30	R3	03	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
31	R4	05	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
32	R3	09	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
33	R4	03	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
34	R3	08	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
35	R4	13	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
36	R3	4	Noal/ Vilas Arco-Íris e Lúcia	Inundação
48	R4	05	Salgado Filho/Beco do Guarani	Inundação/Enxurrada
49	R4	02	Carolina/Beco do Guarani	Inundação/Enxurrada
50	R4	08	Salgado Filho/Beco do Guarani	Inundação/Enxurrada
51	R4	04	Carolina/Beco do Guarani	Inundação/Enxurrada
59	R3	03	Presidente João Goulart/Vila Schirmer	Inundação
60	R3	07	Presidente João Goulart/Vila Schirmer e Km 3	Inundação
61	R3	27	Presidente João Goulart/Vila Km 3	Inundação
62	R4	02	Presidente João Goulart/Vila Km 3	Inundação
63	R3	01	Presidente João Goulart/Vila Km 3	Inundação
64	R4	01	Presidente João Goulart/Vila Km 3	Inundação
70	R4	05	Bairro Km Três/Vila Favarin	Inundação/alagamento
71	R3	01	Bairro Km Três/Vila Favarin	Inundação/alagamento
72	R3	04	Bairro Km Três/Vila Favarin	Inundação/alagamento



FIGURA 2 – Mapa de localização dos setores de risco alto e muito alto associado aos processos hidrológicos de inundação/alagamento nas cinco regiões mapeadas de Santa Maria/RS





A figura 3 apresenta os mapas dos setores de risco alto e muito alto das quatro regiões com processos geológicos de erosão de margem. O quadro 4 apresenta a síntese dos setores de risco alto e muito alto associados aos processos geológicos de erosão de margens nas quatro regiões mapeadas em Santa Maria/RS.

**FIGURA 3** – Mapa de localização dos setores de risco alto e muito alto associado aos processos geológicos de erosão de margem nas quatro regiões mapeadas de Santa Maria/RS





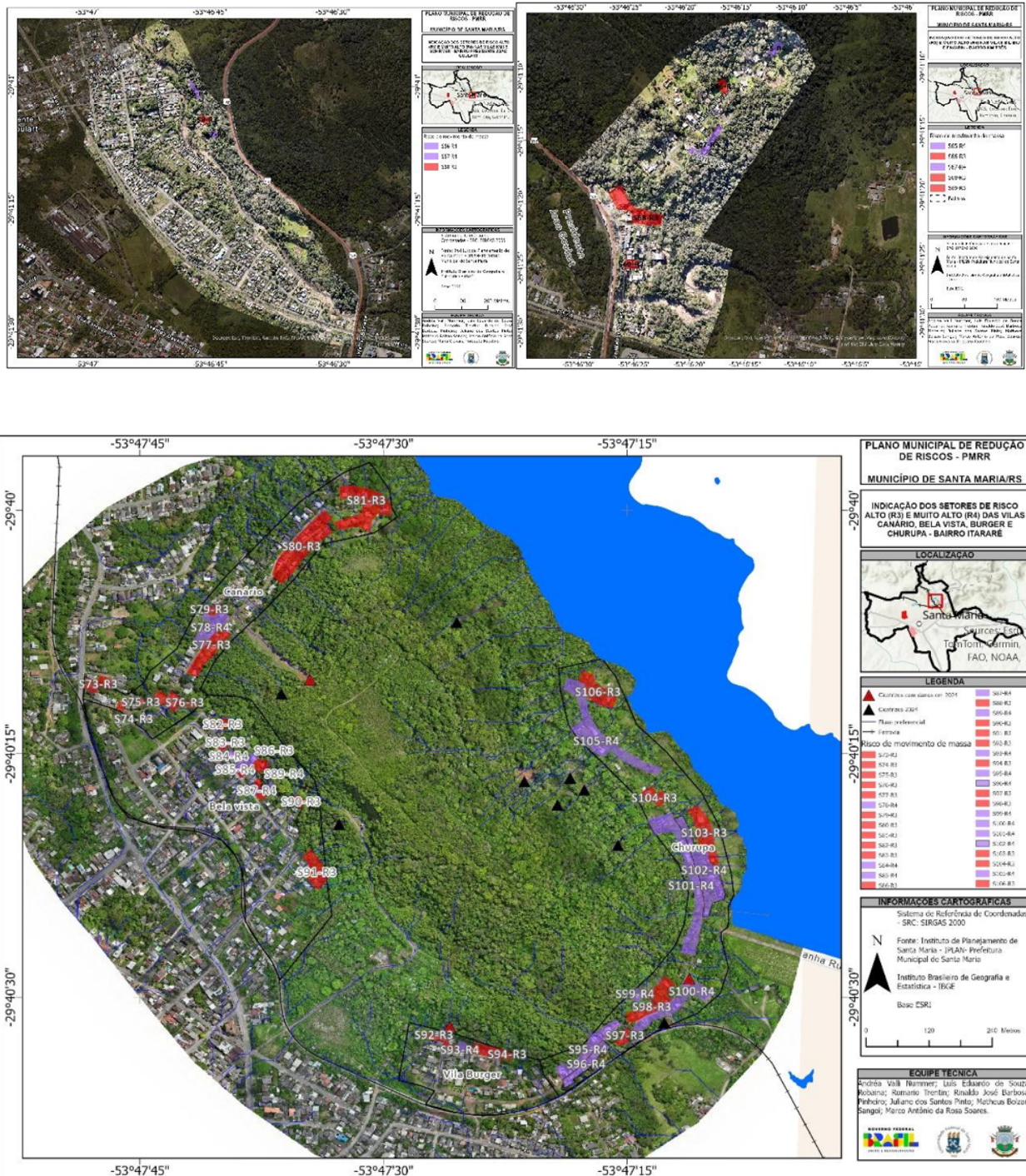
**QUADRO 4:** Setores de risco alto e muito alto associado a erosão de margem

<b>SETOR N°</b>	<b>GRAU DE RISCO</b>	<b>N° EDIFICAÇÕES</b>	<b>BAIRRO/LOCALIDADE</b>	<b>PROCESSO</b>
01	R3	09	Urlândia/Vila Urlândia	Erosão de Margem
02	R3	03	Urlândia/Vila Urlândia	Erosão de Margem
03	R3	02	Urlândia/Vila Urlândia	Erosão de Margem
04	R3	08	Urlândia/Vila Santos	Erosão de Margem
05	R3	03	Urlândia/Vila Urlândia	Erosão de Margem
06	R3	03	Urlândia/Vila Urlândia e Santos	Erosão de Margem
07	R3	03	Urlândia/Vila Urlândia	Erosão de Margem
08	R4	04	Urlândia/Vila Urlândia	Erosão de Margem
09	R4	02	Urlândia/Vila Santos	Erosão de Margem
21	R3	02	Passo da Areia/Vila Babilônia	Erosão de Margem
22	R4	03	Passo da Areia/ Vila Babilônia	Erosão de Margem
23	R3	08	Noal/ Vilas Arco-Íris e Chaminé	Erosão de Margem
24	R4	02	Noal/ Vilas Arco-Íris e Chaminé	Erosão de Margem
37	R3	04	Carolina/Beco do Guarani	Erosão de Margem
38	R4	01	Carolina/Beco do Guarani	Erosão de Margem
39	R3	02	Salgado Filho/Beco do Guarani	Erosão de Margem
40	R3	02	Carolina/Beco do Guarani	Erosão de Margem
41	R3	03	Salgado Filho/Beco do Guarani	Erosão de Margem
42	R4	02	Salgado Filho/Beco do Guarani	Erosão de Margem
43	R3	03	Salgado Filho/Beco do Guarani	Erosão de Margem
44	R4	01	Salgado Filho/Beco do Guarani	Erosão de Margem
45	R3	02	Salgado Filho/Beco do Guarani	Erosão de Margem
46	R4	01	Salgado Filho/Beco do Guarani	Erosão de Margem
47	R4	02	Carolina/Beco do Guarani	Erosão de Margem
52	R4	03	Presidente João Goulart/Vila Schirmer	Erosão de Margem
53	R4	01	Presidente João Goulart/Vila Schirmer	Erosão de Margem
54	R3	02	Presidente João Goulart/Vila Schirmer	Erosão de Margem
55	R3	02	Presidente João Goulart/Vila Schirmer	Erosão de Margem

A figura 4 apresenta os mapas dos setores de risco alto e muito alto das três regiões com processos geológicos de movimento de massa. O quadro 5 apresenta a síntese dos setores de risco alto e muito alto associados aos processos geológicos de movimento de massa nas três regiões mapeadas em Santa Maria/RS.



FIGURA 4 – Mapa de localização dos setores de risco alto e muito alto associado aos processos geológicos de movimento de massa nas três regiões mapeadas de Santa Maria/RS



**QUADRO 5:** Setores de risco alto e muito alto associado a movimento de massa

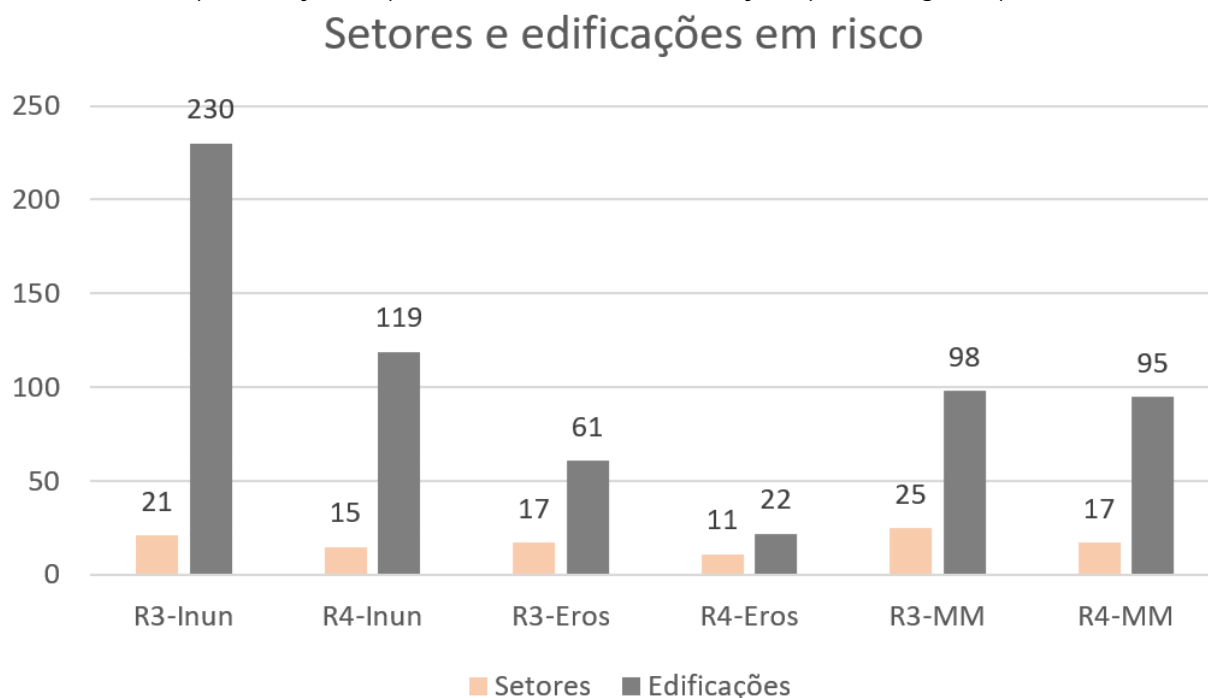
<b>SETOR Nº</b>	<b>GRAU DE RISCO</b>	<b>Nº EDIFICAÇÕES</b>	<b>BAIRRO/LOCALIDADE</b>	<b>PROCESSO</b>
56	R4	02	Presidente João Goulart/Vila Schirmer e Km 3	Movimento de Massa
57	R4	01	Presidente João Goulart/Vila Schirmer e Km 3	Movimento de Massa
58	R3	03	Presidente João Goulart/Vila Schirmer e Km 3	Movimento de Massa
65	R4	02	Bairro Km Três/Vila Bilibiu	Movimento de Massa
66	R3	01	Bairro Km Três/Vila Bilibiu	Movimento de Massa
67	R4	04	Bairro Km Três/Vila Bilibiu	Movimento de Massa
68	R3	05	Bairro Km Três/Vila Bilibiu	Movimento de Massa
69	R3	03	Bairro Km Três/Vila Bilibiu	Movimento de Massa
73	R3	02	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
74	R3	01	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
75	R3	01	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
76	R3	05	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
77	R3	09	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
78	R4	08	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
79	R3	01	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
80	R3	12	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
81	R3	11	Bairro Itararé/Vila Canário	Movimento de Massa
82	R3	01	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
83	R3	01	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
84	R4	01	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
85	R4	02	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
86	R3	02	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
87	R4	01	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
88	R3	03	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
89	R4	01	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
90	R3	01	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
91	R3	06	Bairro Itararé/Vila Bela Vista	Movimento de Massa
92	R3	02	Bairro Itararé/Vila Burger	Movimento de Massa
93	R4	01	Bairro Itararé/Vila Burger	Movimento de Massa
94	R3	03	Bairro Itararé/Vila Burger	Movimento de Massa
95	R4	15	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
96	R4	09	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
97	R3	04	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
98	R3	07	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
99	R4	01	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
100	R4	05	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
101	R4	16	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
102	R4	14	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
103	R3	06	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
104	R3	05	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
105	R4	12	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa
106	R3	03	Bairro Itararé/Vila Churrupa	Movimento de Massa



No total foram definidos 106 setores de risco alto e muito alto nas seis regiões mapeadas para o município de Santa Maria/RS, envolvendo os três tipos de processo causadores de risco: inundações/alagamentos; erosão de margem e movimento de massa. Foram definidos 63 setores de risco alto, sendo 21 associados aos processos de inundação/alagamento/enxurrada, 17 setores associados a erosão de margem e 25 setores associados a movimentos de massa. Quanto aos setores de risco muito alto, foram definidos 43 setores, sendo 15 associados a inundação/alagamento/enxurrada, 11 associados a erosão de margem e 17 associados a movimentos de massa (Figura 5).

Quanto ao número de edificações foram definidas 625 em situação de risco alto ou muito alto. Em risco alto foram definidas 389, das quais, 230 edificações estão associadas aos processos de inundação/alagamento/enxurrada, 61 edificações encontra-se em risco alto associado aos processo de erosão de margem e 98 edificações associada aos risco alto de movimento de massa. Em situação de risco muito alto foram definidas 236 edificações, sendo que destas, 119 estão associadas aos processo de inundação/alagamento/enxurrada, 22 associadas aos processos de erosão de margem e 95 edificações em risco muito alto associado aos processos de movimento de massa.

**FIGURA 5** – Representação do quantitativo de setores e edificações quanto ao grau e processos de risco



Os riscos associados aos processos hidrológicos de inundação/alagamento/enxurrada são os riscos que mais afetam edificações no município de Santa Maria, representando 55,84% do total de edificações em risco alto e muito alto. Apesar do número de setores não ser o maior, cada setor apresenta uma média de 9,7 edificações, bem superior aos demais processos, em decorrência da forma de ocorrência dos processos de inundação/alagamento, que geralmente ocupam grandes áreas próximas aos cursos d' água.



Quanto aos movimentos de massa são os processos causadores de risco que atingem 30,88% das edificações em risco alto e muito alto. Nos mapeamentos realizados no município de Santa Maria, este processo possui o maior número de setores, sendo que cada setor possui uma média de 4,6 edificações. Por fim os processos de erosão de margem são os menores em número de setores e edificações no município. Representa 13,28% das edificações em risco alto e muito alto e os setores mapeados possuem em média 2,96 edificações em cada setor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O entendimento das causas subjacentes a processos superficiais que podem ocasionar danos e perdas constitui um dos campos mais relevantes da geografia aplicada. A análise dos mecanismos, dinâmica, frequência e magnitude de eventos causadores de risco é de suma importância para a formulação de estratégias de mitigação e intervenção. O principal desafio contemporâneo reside na mobilização de esforços interinstitucionais, com especial destaque para o papel das Universidades, para apoiar as administrações municipais no desenvolvimento e implementação de políticas públicas eficazes, bem como na criação de estruturas permanentes para a prevenção de riscos.

A definição dos diferentes cenários de risco representa uma ferramenta estratégica crucial para a elaboração de políticas públicas, visto que possibilita a priorização dos problemas, a avaliação da necessidade de investimentos e oferece suporte técnico ao poder público. Esse suporte visa, em conjunto com a sociedade civil, identificar e implementar soluções apropriadas para as problemáticas identificadas.

A Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelece um conjunto de diretrizes voltadas à prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação de situações de risco. Para a implementação dessa legislação, é imprescindível o compartilhamento de responsabilidades entre os diferentes níveis de governo e sociedade. Nesse contexto, destaca-se a necessidade da identificação e do zoneamento das áreas de risco, fundamentados em estudos técnicos detalhados. O zoneamento, portanto, não se configura apenas como uma ferramenta preventiva, mas também como um instrumento de correção para áreas já afetadas por eventos adversos.

## *Agradecimentos:*

**A**gradecimento a Secretaria Nacional de Periferias  
SNP do Governo Federal pelo parceria na  
realização do trabalho.



## REFERÊNCIAS

- BRITO, M. M., EVERS, M.; ALMORADIE, A. D. S. Participatory flood vulnerability assessment: a multi-criteria approach. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 22, , 2018, 373–390. <https://doi.org/10.5194/hess-22-373-2018>.
- BRITO, M. M., WEBER, E. J., KRIGGER, V. S.; LEITZKE, F. P. Análise dos fatores condicionantes de movimentos de massa no município de Porto Alegre a partir de registros históricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo, v. 68, n. 9, 2016, p. 1853-1872.
- GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos**, Porto Alegre: ABRH, 2005.
- HAMZA, O., DE VARGAS, T., BOFF, F. E., HUSSAIN, Y.; SIAN DAVIES-VOLLUM, K. Geohazard Assessment of Landslides in South Brazil: Case Study. **Geotech Geol Eng** 38, 2020, 971–984. <https://doi.org/10.1007/s10706-019-01054-1>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- KNIERIN, I. S.; ROBAINA, L. E.S. Identificação da suscetibilidade e perigo de inundações nas cidades de Taquara e Parobé, RS. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 40, 2023, p. 166-192. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.255746>.
- LIMA, S.R.O. **Diagnose e Prognose da Vila Bilibiu Santa Maria, RS**. Depto. de Geociências, CCNE, UFSM, p.44. Trabalho de graduação B, CCNE, UFSM, 1994.
- MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria. Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária UFSM, 1990.
- MENEZES, D.J., TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E.S. Análise da Vulnerabilidade da População Suscetível a Inundação na Cidade do Alegrete/RS. **Estudos Geográficos (UNESP)**, v. 18, 2021, p. 45-62. <https://doi.org/10.5380/raega.v50i0.69424>.
- MENEZES, D. J., ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Zoneamento e Classificação das Áreas de Risco a Inundação no Município de Alegrete, RS. **RAEGA - O Espaço Geográfico Em Análise**, 50, 2021, 136–152. <https://doi.org/10.5380/raega.v50i0.69424>
- PETRUCCI, E.; AZEVEDO, L. M. Análise dos eventos extremos de precipitação máxima no município de Cachoeira do Sul/RS, de 1987 a 2020. **Revista de Geografia**, v. 40, n. 3, p. 258-268, 2023. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.253447>.
- PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. D. Instrumentação e monitoramento de duas encostas coluvionares na região central do estado do Rio Grande do Sul. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.3, 2003, p.15-22.
- REIS, J. T. E ROBAINA, L. E. S. Áreas de risco: o caso da Vila Bilibiu. **Ciência e Natura**, v. 31, 2009, p. 121-139.
- RIBEIRO, L. S., RADEMANN, L. K., ROBAINA, L. E. S. SCHNORR, G. G. E TRENTIN, R. Análise da relação entre a ocorrência de deslizamentos e os atributos do relevo no evento extremo de precipitação no sul do Brasil. **Sociedade e Natureza**. v.37, e74694, 2025. <https://doi.org/10.14393/SN-v37-2025-74694>.
- ROBAINA, L. E. S., BERGER, M. G.; MEDEIROS, E. R. Estudo dos Riscos Geológicos da Região do Município de Santa Maria: O Caso da Vila Bilibiu. **Rev. Ciência e Natura**, Santa Maria, 19, 1997. p. 173 – 200.
- SANTOS, A. D. dos; GAMA, A. M. C. de F.; FARIA, A. A. C.; SOUSA, J. A. de; MELO, L. R. O.; CHAVES, M. B. F.; FERREIRA-NETO, P. S. **Metodologias Participativas: caminhos para o Fortalecimento de espaços públicos socioambientais**. São Paulo: Peirópolis, 2005. 180 p.
- SANTOS, P. P., ZÊZERE, J. L., PEREIRA, S., ROCHA, J.; TAVARES, A. O. A Novel Approach to Measuring Spatiotemporal Changes in Social Vulnerability at the Local Level in Portugal. **Int J Disaster Risk Sci**, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13753-022-00455-w>.
- SPODE, P. L. C.; FARIA, R. M. Indicadores de pobreza e privação social na área urbana de Santa Maria. **Boletim Geográfico**, 36, 2020, p. 9-29.
- TRENTIN, R., ROBAINA, L. E. S.; AVILA, L. Proposal Methodology for Analysis of Population Vulnerability at Hazard Areas. **Mercator**. v. 18, p. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.4215/rm2019.e18004>.
- TOMINAGA, L. K. Desastres naturais: por que ocorrem? In: Tominaga, L. K., Santoro, J.; Amaral, R. (Orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2015, p. 11-23.



UNISDR. **Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres 2015 – 2020**. 40 p. Disponível em: <[http://unisdr-cerrd.wikispaces.com/file/view/Sendai\\_Framework\\_for\\_Disaster\\_Risk\\_Reduction\\_2015-2030](http://unisdr-cerrd.wikispaces.com/file/view/Sendai_Framework_for_Disaster_Risk_Reduction_2015-2030)

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. Definições e vulnerabilidades do risco. In: Veyret, Y. (Org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. 2. ed. Tradução: Dílson Ferreira da Cruz. São Paulo: Contexto, 25-46, 2015.

ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 10 (2), 2009. <https://doi.org/10.20502/rbg.v10i2.131>.

ZANELLA, M. E., DANTAS, E. W.; OLÍMPIO, J.L.S. A vulnerabilidade natural e ambiental do município de Fortaleza/CE. **Boletim Goiano de Geografia. Goiânia**, v. 31, n. 2, p. 13-27, 2011. <https://doi.org/10.5216/bgg.V31i2.16842>.



# VULNERABILIDADE SOCIAL AOS RISCOS NATURAIS URBANOS: UM GRANDE DESAFIO PARA OS MUNICÍPIOS DA REGIÃO DAS PALMES NO HAITI

Bennson Sauveur<sup>1</sup>

Romario Trentin<sup>2</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Resiliência, Riscos naturais, Urbanização, Vulnerabilidade Social.

## RESUMO

Este trabalho analisa a vulnerabilidade social da região das Palmes, no Haiti, aos desastres naturais em áreas urbanas, amplificada pela urbanização rápida e desorganizada. O objetivo é identificar os fatores que contribuem para essa vulnerabilidade social e desenvolver estratégias para promover a resiliência da comunidade. A abordagem metodológica consiste na análise documental e na utilização de dados socioeconômicos para avaliar a exposição das populações a perigos hidrometeorológicos, bem como as condições de vulnerabilidade das comunas de Gressier, Léogâne, Grand-Goâve e Petit-Goâve, que constituem o território da região das Palmes. Os resultados indicam que a urbanização descontrolada, a pobreza e a infraestrutura inadequada amplificam a vulnerabilidade social das comunidades aos desastres naturais. Cada comuna tem um perfil econômico que afeta sua resiliência: Gressier mostra maior estabilidade, enquanto Grand-Goâve e Petit-Goâve são mais dependentes de ajuda externa. Este trabalho destaca a necessidade de políticas públicas efetivas e maior participação da comunidade. Ele também recomenda um plano de urbanização adaptado à dinâmica local para resolver os problemas de riscos urbanos a partir de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável.

<sup>1</sup> Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [bennsonsauveur5@gmail.com](mailto:bennsonsauveur5@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor orientador: Doutor, Programa de Pós-graduação em Geografia – UFSM, [romario.trentin@gail.com](mailto:romario.trentin@gail.com)



## INTRODUÇÃO

O Haiti é um dos países caribenhos mais propensos a desastres naturais, como evidenciado pelos frequentes eventos climáticos extremos que o atingiram nas últimas décadas (Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento, 2015). Entre 1990 e 2008, o país foi afetado por inúmeras inundações, secas, tempestades tropicais e furacões (BARRETTE e DALEAU, 2017). De acordo com o Global Climate Risk Index 2021, o Haiti é o terceiro país mais afetado, depois de Porto Rico e Mianmar, por riscos climáticos entre 2000 e 2019 (GERMANWATCH, 2021).

As perspectivas climáticas para 2030 prevêem um aumento da temperatura de 0,8 °C a 1 °C e um aumento do nível do mar de até 1,1 metros em 2071 (Ministère de l'Environnement et Direction des Changements Climatiques, 2020). Esses fenômenos intensificam a vulnerabilidade social, especialmente em áreas urbanas precárias. A gestão de riscos naturais e a mitigação da vulnerabilidade urbana são grandes desafios em escala global, implementados por instituições como a ONU e a União Europeia (QUENAULT, 2015). No entanto, no Haiti, o crescimento urbano rápido e descontrolado está aumentando a exposição a desastres naturais. A urbanização desordenada, a pobreza que afeta cerca de 80% da população e a infraestrutura inadequada são fatores agravantes da vulnerabilidade social e ambiental (PNUD, 2015).

Na região das Palmes, que inclui as comunas de Gressier, Léogâne, Petit-Goâve e Grand-Goâve, essas questões são particularmente preocupantes e específicas (TARDIEU, 2018). A rápida urbanização não tem sido acompanhada por um desenvolvimento de infraestrutura proporcional às necessidades, forçando parte da população a se instalar em áreas de risco: várzeas, barrancos no entorno de infraestruturas perigosas (SILVA e SANTIAGO, 2007). A expansão dos assentamentos informais e a crescente deterioração das condições de vida reforçam desigualdades e riscos (MILIAN e TAMARU, 2018). Desde 2010, a Comunidade das comunas da Região das Palmes (CMRP) estabeleceu uma estrutura para consulta sobre desenvolvimento regional. Mas as medidas de prevenção e gestão dos riscos continuam a ser insuficientes. Diante dos desafios impostos pelos riscos naturais e pela rápida urbanização, a região das Palmes, no Haiti, enfrenta uma crescente vulnerabilidade social e ambiental. É fundamental entender como essa vulnerabilidade pode ser reduzida por meio de estratégias de urbanização sustentável e mecanismos de resiliência (Comité Interministériel de l'Aménagement du Territoire et Atelier International de Maîtrise d'Œuvre Urbaine, 2016).

O presente trabalho de pesquisa busca analisar as dinâmicas de vulnerabilidade social e de resiliência na região das Palmes, no Haiti, identificando os fatores que afetam a capacidade das populações locais de se adaptarem aos riscos naturais e aos desafios



gerados pela urbanização. Diante dessa situação, este trabalho se concentra na análise da vulnerabilidade socioambiental e no desenvolvimento de abordagens estratégicas que promovam a urbanização sustentável e a resiliência das comunidades da região das Palmes.

Para isso, foram definidos três objetivos específicos (i) identificar os fatores estruturais que contribuem para a vulnerabilidade social e ambiental na região das Palmes; (ii) estudar os impactos do crescimento urbano não planejado e desordenado no agravamento da exposição a riscos naturais; (iii) desenvolver um plano de planejamento urbano resiliente que leve em consideração a gestão de desastres naturais, respeitando as especificidades e exigências da realidade local.

A região das Palmes representa um caso emblemático para quem busca entender essas dinâmicas: ali se observa um agravamento dos fatores de vulnerabilidade socioambiental, fruto de um processo de urbanização desordenado e sem planejamento, além de uma forte exposição a riscos naturais em áreas urbanas. Compreender melhor essas dinâmicas é essencial para promover um desenvolvimento sustentável e inclusivo, reduzir as desigualdades sociais, preservar o meio ambiente e fortalecer a segurança das populações locais. Uma compreensão aprofundada da dinâmica da vulnerabilidade social na região das Palmes começa com uma análise das características físicas do território.

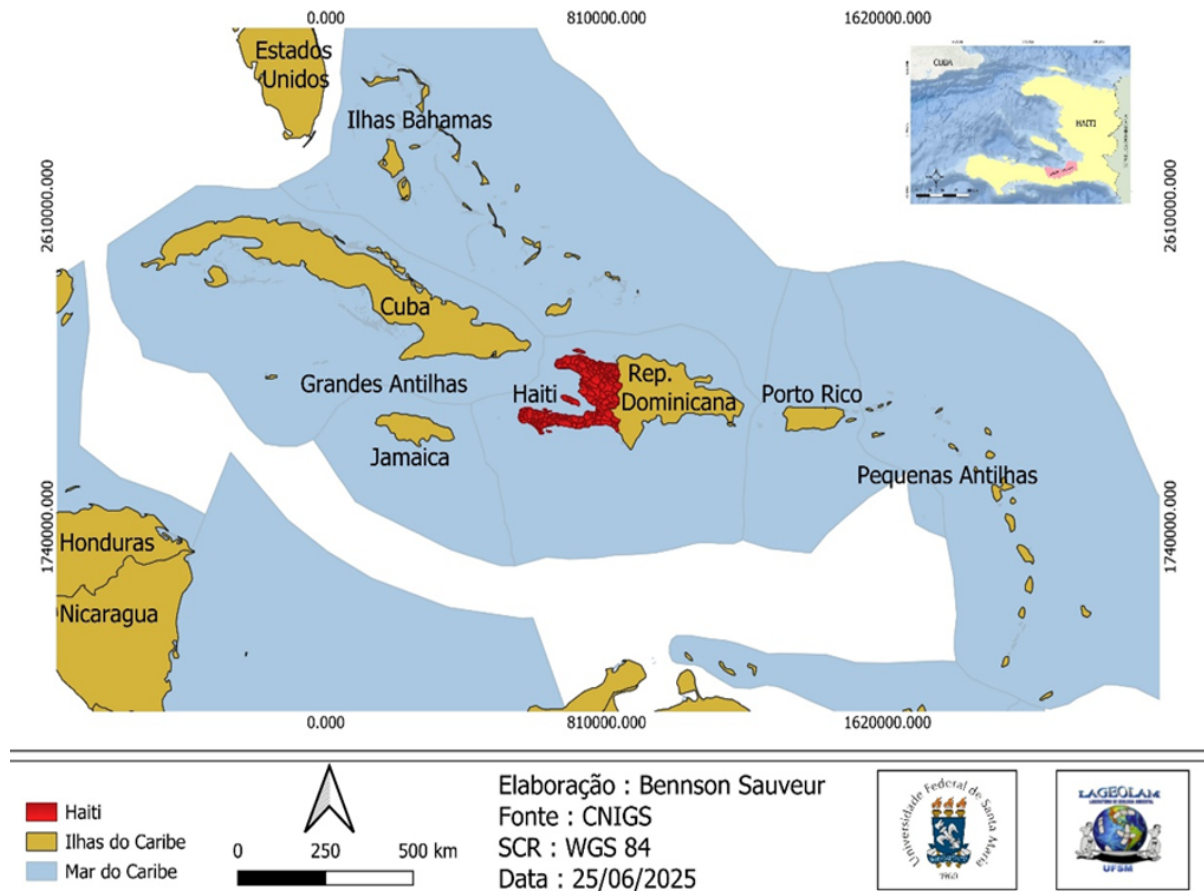
## **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA REGIÃO DAS PALMES, NO HAITI**

### **Situação geográfica e localização**

O Haiti ocupa o terço ocidental da ilha caribenha de Hispaniola, que compartilha com a República Dominicana. Localizada entre as latitudes 18° e 20° N e as longitudes 71° e 74° W, está localizada na região do Caribe (Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications et Unité Centrale d'Exécution, 2024). Este mapa de fundo é usado para ilustrar a Figura (1) que representa o Haiti e seu contexto regional. Ele retrata os contornos da República Dominicana, a ponta de Cuba e as ilhas adjacentes do Haiti e as outras ilhas da região do Caribe.



**FIGURA 1.** Localização do Haiti na região do Caribe



**FONTE:** Autor (2025)

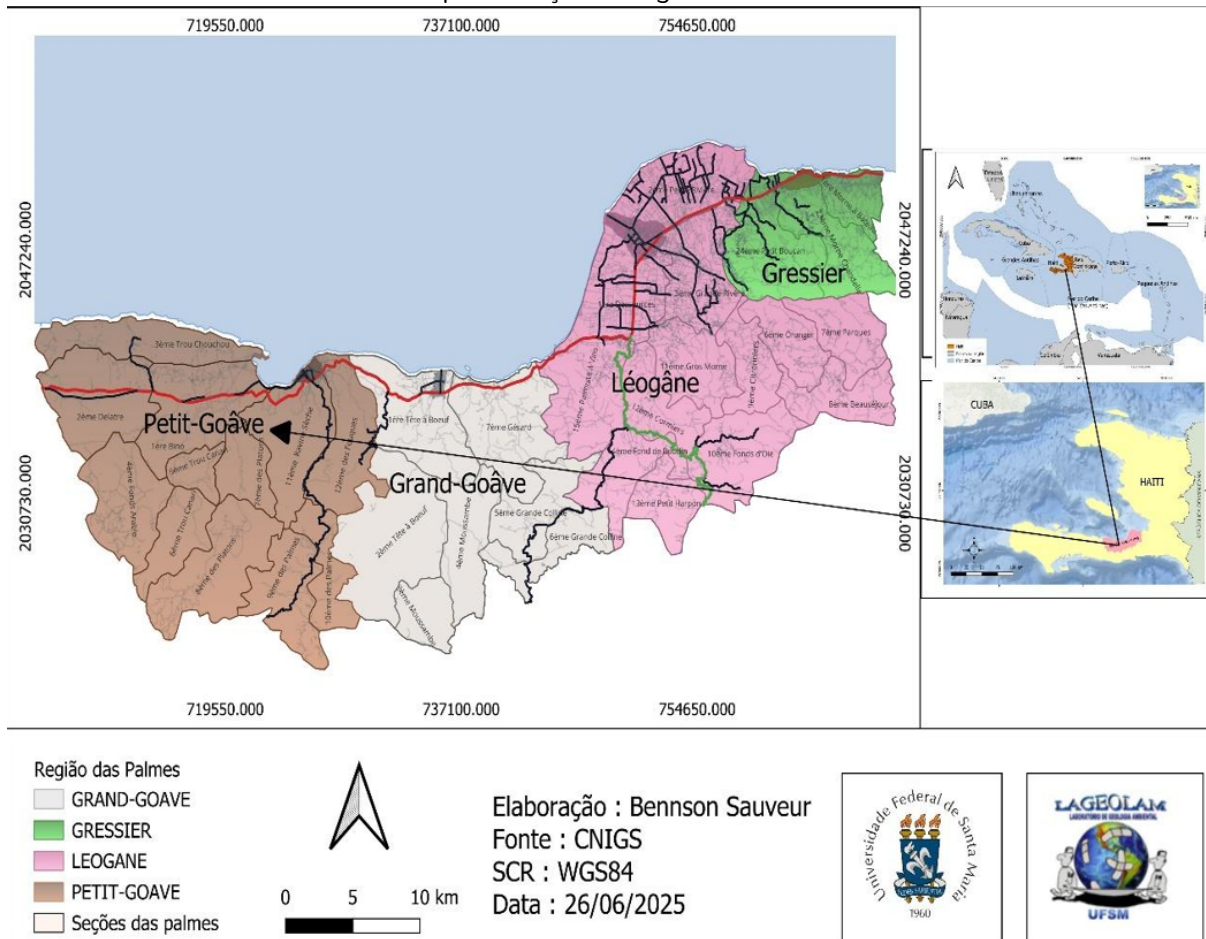
A região das Palmas está localizada no departamento de Oeste, a sudoeste da capital do país, e inclui as comunas de Gressier, Léogâne, Grand-Goâve e Petit-Goâve, todas localizadas na costa do Golfo de Gonâve. Esta região é um corredor estratégico entre Port-au-Prince, a capital, e o sul do país (TARDIEU, 2018). A região das Palmas tem uma topografia contrastante, marcada pelas cadeias montanhosas do Maciço de la Selle, em particular as alturas de Matheux e as Mornes Tapion e Tête-à-Bœuf, que convivem com planícies aluviais como as da comuna de Léogâne e da comuna de Petit-Goâve, embora menores, favoráveis à agricultura. O clima é tropical úmido, com uma estação chuvosa de abril a novembro e uma estação seca de dezembro a março; as temperaturas variam entre 25 °C e 30 °C e a precipitação varia entre 790 e 1.800 mm, dependendo da altitude (Centre National de l'Information Geo-Spatiale, 2020).

Vários rios com regime torrencial atravessam as áreas urbanas de quase todas as comunas da região, que acabam sendo muito devastadas durante eventos climáticos extremos, como as comunas de Léogâne, Grand-Goâve e Petit-Goâve, bem como a de Gressier, levando ao risco de inundações, especialmente nas áreas costeiras urbanizadas (LENTINI e DI CECCO, 2012). Nestas comunas, os solos são aluviais nas planícies,



favoráveis à agricultura, e calcários ou xistosos nas montanhas, mais vulneráveis à erosão. A vegetação original, composta por florestas tropicais, foi degradada principalmente pelo desmatamento e pela agricultura de corte e queima. Por fim, localizada na Falha do Enriquillo-Plantain Garden, a região está exposta a um alto risco sísmico, além de ser vulnerável a deslizamentos de terra, erosão e ciclones (CALAIS et al., 2002).

FIGURA 2. Apresentação da região de Palmes no Haiti



**FONTE:** Autor (2025)

Essas particularidades físicas, combinadas com as pressões demográficas e socioeconômicas observadas, tornam necessária uma abordagem metodológica integrada, conforme descrito na próxima seção.

## METODOLOGIA

Este trabalho propõe uma abordagem mista que combina indicadores socioeconômicos e abordagens geográficas para avaliar a vulnerabilidade social a riscos naturais urbanos nas comunas de Gressier, Léogâne, Grand-Goave e Petit-Goave no Haiti. O objetivo da central é avaliar as condições socioeconômicas das pessoas em risco e examinar a eficácia da infraestrutura e dos serviços de emergência na resposta a desastres (EMMANUEL et DI CECCO, 2012).



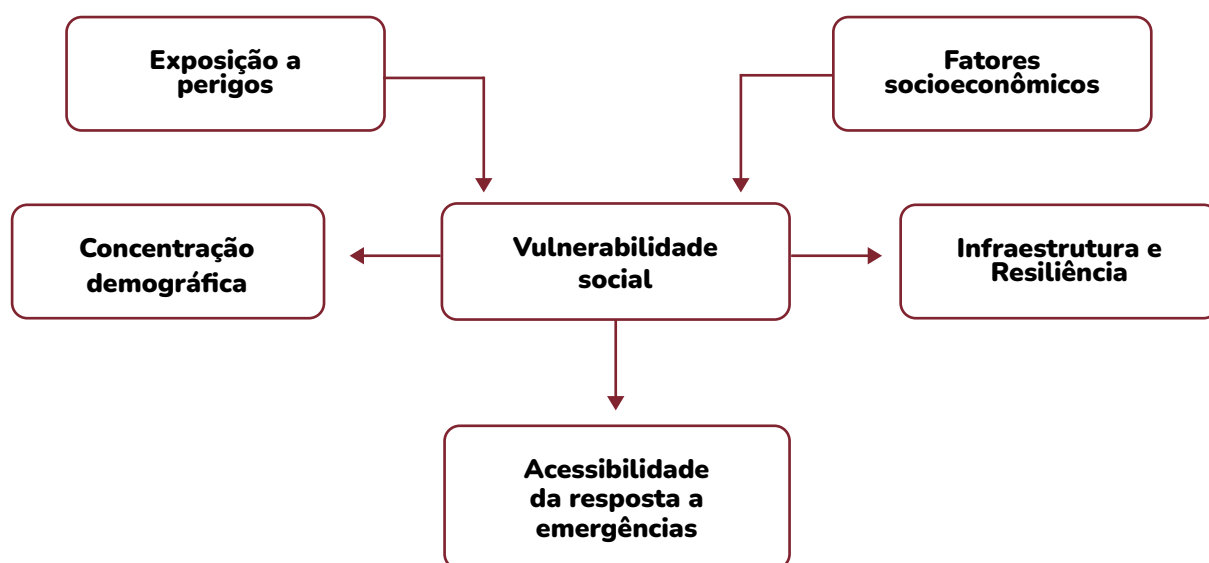
O estudo da vulnerabilidade social aos riscos naturais urbanos na região das Palmes faz parte de um quadro mais amplo de reflexão sobre urbanização sustentável e gestão de riscos no Haiti, buscando fornecer ferramentas de análise e tomada de decisão para fortalecer a resiliência das populações diante de ameaças naturais e antrópicas (FREITAS et al., 2012).

A revisão da literatura baseia-se em uma ampla revisão bibliográfica de publicações científicas e relatórios institucionais que tratam da vulnerabilidade social e dos riscos naturais em áreas urbanas (ALMEIDA, 2012).

A metodologia deste estudo segue uma lógica de priorização de espaços vulneráveis de acordo com diversos critérios. Em primeiro lugar, leva em consideração a exposição das populações a riscos naturais, como inundações, terremotos e deslizamentos de terra (NASCIMENTO, FILGUEIRA e SILVA, 2013). Em segundo lugar, considera a concentração demográfica em áreas de risco. Além disso, o estado da infraestrutura e sua resiliência a desastres é outro critério fundamental e crucial. Por fim, também é levada em consideração a acessibilidade das áreas de risco para intervenções emergenciais (MARCELINO et al., 2022). A Figura (3) permitirá ilustrar os principais fatores que influenciam a vulnerabilidade social aos riscos urbanos na região das Palmes. Resume as dimensões tidas em conta da análise das zonas vulneráveis.

Essas escolhas metodológicas servem de base para a análise subsequente dos resultados, a fim de melhor compreender os mecanismos de vulnerabilidade e suas implicações concretas nos quatro comunas estudados.

**FIGURA 3.** Fatores que influenciam a vulnerabilidade social nas áreas urbanas



**FONTE:** Autor (2025).



Espera-se que este estudo identifique dinâmicas urbanas que ampliem a vulnerabilidade social e informem as decisões sobre o desenvolvimento urbano e territorial. Ao integrar uma abordagem multirrisco e orientar a análise para o mecanismo de resiliência comunitária, esta pesquisa contribuirá para a formulação de estratégias de urbanização sustentável adaptadas às realidades locais das comunas da região das Palmes no Haiti (DAOUDA, AKKARI e BRYANT, 2017).

Essa abordagem metodológica prepara a análise dos resultados apresentados na seção seguinte, esclarecendo a dinâmica da vulnerabilidade social nas quatro comunas envolvidas.

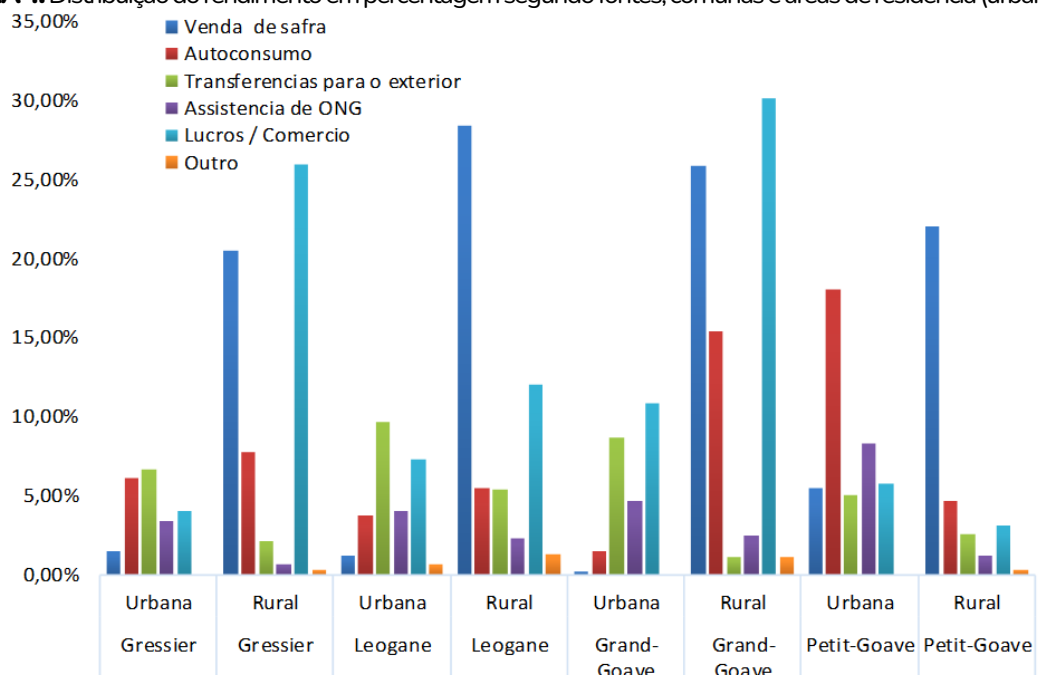
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Mecanismo de vulnerabilidade social e territorial na região das Palmes

A vulnerabilidade social na região das Palmes, no Haiti, resulta da interação entre precariedade econômica, desenvolvimento urbano não planejado, acesso desigual a serviços básicos e crescentes pressões ambientais. Esses fatores se amplificam, aumentando a exposição das comunidades locais aos perigos (GREGORY, 2024).

No nível econômico, claras disparidades caracterizam quatro comunas estudadas. Em Léogâne e Grand-Goâve, a economia depende fortemente da receita das remessas, o que reduz sua resiliência a choques externos. Em Petit-Goâve, a falta de diversificação econômica enfraquece ainda mais a resiliência local. Por outro lado, a Gressier beneficia de uma economia mais variada (pequenas lojas, agricultura, etc.), o que lhe confere maior estabilidade (EMMANUEL e DI CECCO, 2012). Figura (4) abaixo resume as principais fontes de renda de acordo com as comunas e áreas (urbanas/rurais).

**FIGURA 4.** Distribuição do rendimento em percentagem segundo fontes, comunas e áreas de residência (urbanas/rurais)



**FONTE:** Elaborado pelo autor com base em dados da Welthungerhilfe (2012).



A análise comparativa das rendas urbanas nas quatro comunas destaca diferenças relacionadas à proximidade com Port-au-Prince (TARDIEU, 2018). Gressier e Léogâne, consideradas cidades-dormitório, são altamente dependentes de atividades comerciais urbanas. Nessas duas comunas, os lucros do comércio e dos serviços são predominantes: cerca de 26 % para a área urbana de Gressier e 6,8 % para a urbana de Léogâne. Além disso, há uma parcela significativa de remessas (quase 10 % na área urbana de Léogâne) e ajuda de ONGs, refletindo uma combinação de recursos de mercado e ajuda externa (DESROSIERS, 2020). Por outro lado, Petit-Goâve e Grand-Goâve, que estão mais distantes da capital, têm uma estrutura de renda mais diversificada. Na área urbana de Petit-Goâve, a parcela do autoconsumo chega a quase 18 %, a ajuda das ONGs representa 8,3 % e as remessas do exterior, o comércio e a venda de safras compõem o restante da renda. Esse padrão reflete uma maior dependência de estratégias de sobrevivência locais. Quanto à Grand-Goâve urbana, o comércio (11 %), as transferências, a assistência de ONGs e a venda de safras parecem ser importantes fontes de lucratividade de renda (LENTINI e DI CECCO 2012).

Esse panorama evidencia a fragilidade das economias urbanas mais periféricas, onde as rendas formais são menos predominantes e muitas vezes substituídas por formas de solidariedade comunitária.

Nas áreas rurais, a renda é derivada principalmente da agricultura. As vendas de safras ocupam um lugar importante: 28,4 % na zona rural de Léogâne, 22,3 % na zona rural de Petit-Goâve, enquanto o comércio chega a 30,10 % na zona rural de Grand-Goâve (LENTINI e DI CECCO 2012). A Léogâne rural recebe uma parte significativa das transferências do estrangeiro e da ajuda de ONG, como também acontece noutras comunas. Esse perfil rural evidencia um tecido socioeconômico dominado por estratégias agropastoris, em um contexto marcado pela falta de infraestrutura agrícola e dependência crônica de ajuda externa. A distribuição desigual de renda, combinada com a pressão demográfica, leva à urbanização desordenada. Isso interrompe o funcionamento das redes de esgoto, limita o acesso a instalações públicas e acelera a degradação ambiental. Esses fatores agravam a vulnerabilidade social, particularmente em áreas densamente povoadas (DESROSIERS, 2020).

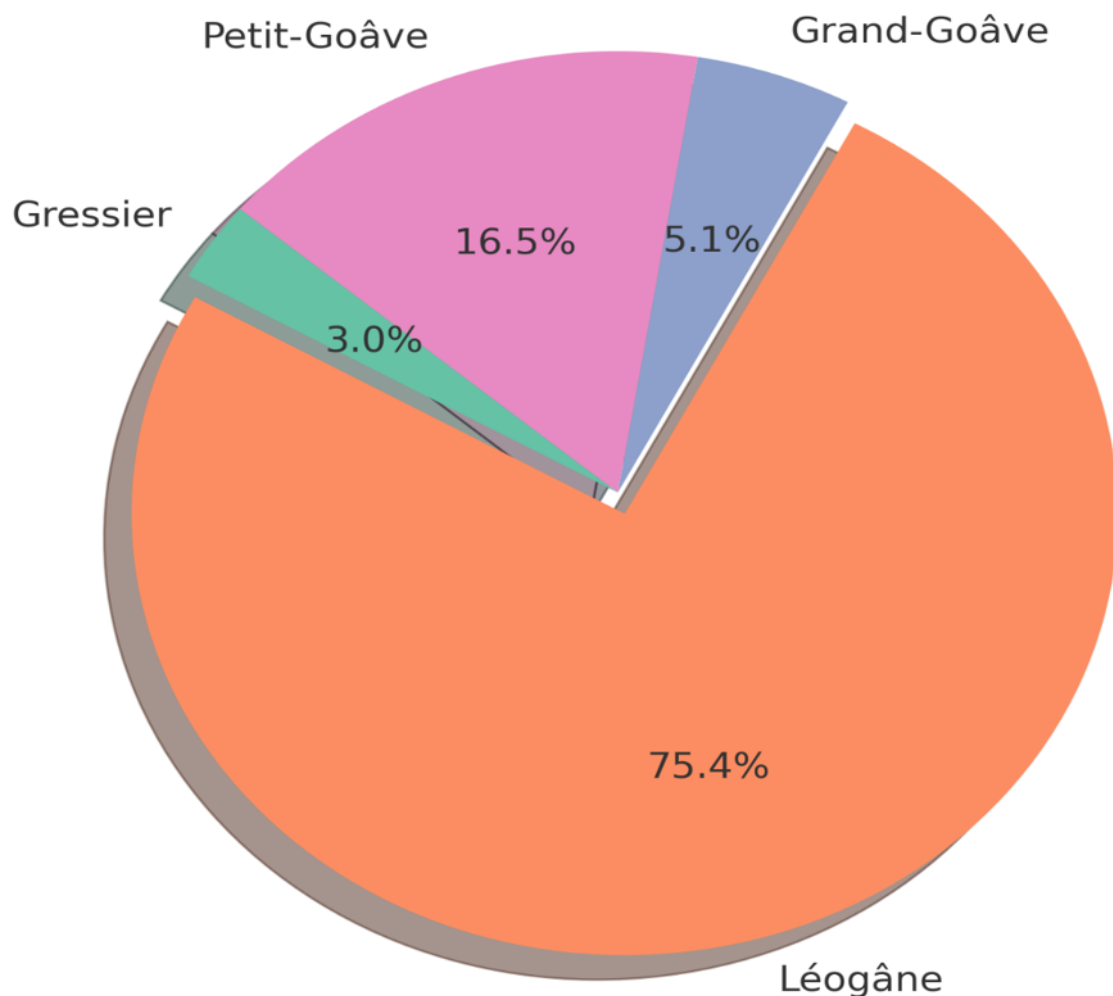
As áreas urbanas de Gressier, Léogâne, Grand-Goâve e Petit-Goâve, localizadas em baixas altitudes, estão expostas a inundações durante os períodos chuvosos (abril a julho e de outubro a novembro), em plena temporada de ciclones (CASTRO, 2010). Esses perigos são agravados pelas frentes polares de inverno, que contribuem para o aumento das chuvas e promovem deslizamentos de terra. Esses fenômenos colocam em risco as terras irrigadas e ameaçam diretamente a agricultura local (STAUB et al., 2020). Entre as comunas, Léogâne destaca-se pela sua crescente vulnerabilidade, ligada à sua topografia



na planície e a uma urbanização desordenada nas áreas aluviais. Apesar de um potencial para irrigação, essa configuração amplifica os riscos de inundações, devido à falta de infraestrutura de drenagem adequada (HYPPOLITE, 2022). Entre 2008 e 2023, vários desastres naturais revelaram as fragilidades do desenvolvimento urbano de Léogâne. Ciclones sucessivos confirmaram sua posição como uma das áreas mais expostas a riscos hidroclimáticos na região das Palmes, no Departamento Oeste (PNUD, 2015). Esses achados confirmam a urgência do planejamento urbano integrado, e propostas serão feitas nesse sentido nas recomendações, com vistas a reduzir a exposição e consolidar a resiliência das comunidades.

O acesso desigual à água potável, à saúde, às estradas e à infraestrutura essencial reforça a precariedade social (BOTTON e URQUIETA, 2020). Léogâne tem uma alta exposição a inundações, com 75,44% das terras irrigadas afetadas, comprometendo seriamente a agricultura local. Petit-Goâve segue com uma taxa significativa de 16,48%, enquanto Gressier é relativamente poupada (2,95% das terras irrigadas inundadas), mas permanece vulnerável a deslizamentos de terra. Figura (5) abaixo ilustra esses dados (CASTRO, 2010).

**FIGURA 5.** Área irrigada e impacto das inundações em áreas urbanas da região de Palmes



**FONTE:** Elaborado pelo autor com base em dados da Direção de Proteção Civil (2012).



Essas descobertas destacam a urgência de implementar uma estratégia de urbanização sustentável. É essencial integrar a gestão de riscos naturais, fortalecer o planejamento urbano, melhorar o acesso a serviços essenciais e apoiar a economia local (PNUD, 2015). Na ausência de tais medidas, a urbanização descontrolada e desordenada continuará a sobrecarregar as instituições locais e expor as pessoas a maiores riscos. O acesso desigual à infraestrutura básica, aliado à degradação ambiental, contribui para manter as populações em situação de vulnerabilidade social crônica (TRENTIN et al., 2019). Num contexto de falta de instalações adequadas e de medidas de segurança eficazes, as áreas habitadas, muitas vezes construídas em zonas propensas a inundações ou instáveis, são diretamente afetadas por inundações e deslizamentos de terras, aumentando assim a exposição das comunidades mais desfavorecidas.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo confirmam que a vulnerabilidade socioambiental na região das Palmes decorre de uma complexa interação entre fatores econômicos, sociais, institucionais e territoriais. Essa dinâmica, fortemente marcada pela urbanização rápida e desordenada em um contexto de pobreza, acentua a exposição a riscos naturais, em consonância com os trabalhos de Quenault (2011) e Milian e Tamaru (2018). O estudo destaca a inadequação da capacidade institucional para lidar com a dinâmica da expansão urbana, em vez de uma capacidade real de controlá-la. O desenvolvimento de habitações não regulamentares em áreas de risco ilustra a falta de planejamento. Assim, essa análise destaca a importância do aprofundamento da reflexão teórica sobre as vulnerabilidades socioambientais. Essa situação remete às abordagens teóricas da vulnerabilidade socioambiental multidimensional, realizadas por Thouret e D'Ercole (1994), que clamam por estratégias integradas e participativas.

Ao mesmo tempo, torna-se fundamental ter em conta o aspecto econômico na avaliação destas vulnerabilidades. As desigualdades econômicas, como a dependência de transferências de renda ou a falta de diversificação de renda, agravam as disparidades sociais (consequências da vulnerabilidade social e multidimensional). Apenas a comuna de Gressier é particularmente resiliente, mas permanece vulnerável a repetidos deslizamentos de terra. Essa heterogeneidade é um lembrete da importância de adotar uma abordagem diferenciada e contextualizada para o desenvolvimento urbano.

No entanto, esta análise é limitada por importantes restrições metodológicas. Deve-se ressaltar, no entanto, que o estudo apresenta algumas limitações metodológicas. A falta de dados atualizados, no caso do Haiti, particularmente na região das Palmes, resulta da natureza incompleta de alguns dados estatísticos, bem como da falta de



consideração das percepções locais de riscos, o que impede uma avaliação abrangente. Essas limitações destacam a necessidade de novas pesquisas para aprofundar certos aspectos que não foram abordados, com base em abordagens qualitativas e participativas.

Nessa perspectiva, medidas concretas devem ser implementadas para mitigar essas vulnerabilidades. O fortalecimento dos sistemas de proteção social é essencial para melhor lidar com as crescentes vulnerabilidades urbanas, melhorar a infraestrutura básica, promover a gestão participativa das bacias hidrográficas e desenvolver uma agricultura urbana resiliente. Essas ações fazem parte de uma lógica de resiliência ao buscar reduzir as fragilidades sociais e fortalecer as capacidades de ajuste das populações. Finalmente, essas abordagens não podem ser eficazes sem governança adequada. Por fim, o estudo insiste na importância da governança inclusiva, desenvolvida a partir de uma abordagem participativa e da capitalização do conhecimento da comunidade. Tal governança é essencial para a construção de uma estratégia de urbanização sustentável, ancorada em dinâmicas territoriais, adaptada aos desafios do território, ao mesmo tempo em que visa um desenvolvimento inclusivo e resistente a perturbações.

## *Agradecimentos:*

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALMEIDA, L. Q. DE. Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações. **Cultura Acadêmica Editora**. P. 214, 2012.
- BARRETTE, N.; DALEAU, L. Haïti, également terre de cyclones. **Horizons américains**. P. 352, 2017.
- BOTTON, S.; URQUIETA., P. **Au-delà de l'accès au réseau public** : un panorama des inégalités face aux services d'eau en Bolivie. P. 24, 2020.
- CALAIS, E. et al. Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 18, P. 5, 2002.
- CASTRO, S. M. Analyse des menaces naturelles multiples (Multimenhas-2) en Haïti. Étape 2: reconstruction des quartiers. Volume I: Étude régionale sur les menaces naturelles en Haïti **Unpublished**. p. 77, 2010. Disponível em: <<http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.1584.2728>>. Acesso em: 1 abr. 2025



- Centre National de l'Information Géo-Spatiale (CNIGS). Rapport de l'étude de vulnérabilité et de résilience au changement climatique et à l'insécurité alimentaire. p. 76, 2020.
- Comité Interministériel de l'Aménagement du Territoire (CIAT) et Atelier International de Maîtrise d'Œuvre Urbaine. « La campagne, comme la ville, est émancipatrice » Région des Palmes en Haïti : Comment réconcilier périphérie métropolitaine, urbanité littorale et ruralité montagnarde ? p. 103, 2016.
- DAOUDA, O.; AKKARI, C.; BRYANT, C. La co-construction pour renforcer la résilience communautaire. Em: THOMAS, I.; CUNHA, A. D. (Eds.). La Ville résiliente. **Les Presses de l'Université de Montréal**, P. 123–135, 2017.
- DESROSIERS, I. Haiti: da desigualdade social às desigualdades socioespaciais na metrópole de Porto Príncipe. **Haïti**. p. 160, 2020.
- EMMANUEL, C; MARCO, D, C. Rapport d'enquête sur les paramètres socio-économiques dans les communes de Petit Goâve, Grand Goâve et Jacmel. **Haïti**. p. 118, 2012.
- FREITAS, C. M. D. et al. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, P. 1577–1586, jun. 2012.
- GERMANWATCH. Global climate risk index 2021. **Germanwatch**. p. 50, 2021.
- GREGORY, M. Crises environnementales en Haïti : Entre vulnérabilité territoriale et défis socio-écologiques. p. 101–108, 2024.
- HYPOLITE, K. Perception locale des agriculteurs de la commune de Léogâne (Haïti) face aux risques d'inondations et stratégies d'adaptations. p. 64. 2022.
- LENTINI, A.; DI CECCO, M. Évaluation technique des menaces naturelles des communes de Jacmel, Petit Goâve, Grand Goâve (Haïti). p. 118, 2012. Disponible em: <<http://www.enea.it/it>>.
- MARCELINO, A. G. B. et al. Redução de Riscos de Desastres. Direito à moradia : Desafios para a resiliência urbana. **Paisagens & Geografias**, v. 3, n. 2, p. 20, 2022.
- Ministère de l'Environnement (MDE) et Direction des Changements Climatiques (DCC). Rapport sur l'identification et la hiérarchisation des technologies climatiques. . 40, 2020.
- MILIAN, J.; TAMRU, B. Port-au-Prince, ville du risque ? Un mythe au prisme d'une urbanisation vulnérable. p. 19, 2018.
- Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC) et Unité Centrale d'Exécution (UCE). Projet d'accélération numérique pour Haïti (HDAP) évaluation préliminaire des impacts environnementaux et sociaux (**EPIES**), p.40, 2024.
- NASCIMENTO, M. O. T. D.; FILGUEIRA, H. J. A.; SILVA, T. C. D. Metodologia para priorização de ações em aglomerados subnormais considerando os riscos de deslizamentos e inundações e as condições de moradia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 39–46, 2013.
- Programme des Nations Unies Pour le Développement (PNUD). Haïti, ensemble face aux risques. p. 16, 2015.
- Programme des Nations Unies Pour le Développement (PNUD). Reduction des risques naturels en zones urbaines en Haïti. p. 16, 2015. Disponible em: <[www.ht.undp.org](http://www.ht.undp.org) - [www.mpce.gouv.ht](http://www.mpce.gouv.ht)>
- QUENAULT. La vulnérabilité, un concept central de l'analyse des risques urbains en lien avec le changement climatique. **Les Annales de la recherche urbaine**, v. 110, n. 1, p. 138–151, 2015.
- STAUB, C. et al. Coping with climatic shocks: local perspectives from Haiti's rural mountain regions. **Population and Environment**, v. 42, n. 2, p. 146–158, 2020.
- SILVA, C. S. D.; SANTIAGO, A. Urbanização e inundações: conflitos e possibilidades. **Paisagem e Ambiente**, n. 24, p. 327, 31 dez. 2007.
- TARDIEU, J.-F. Diagnostic Territorial de la Région des Palmes. **CERRAD ed. Haïti**. v. 1. p. 84, 2018.



# IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS COM RISCO À INUNDAÇÃO BASEADO NA ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO BOACICA – AL

Rafaella Silva Leal <sup>1</sup>

Raimundo Ferreira da Silva Sobrinho <sup>2</sup>

Thais Silva de Souza <sup>3</sup>

David Luiz do Nascimento Santos <sup>4</sup>

Milena Dutra da Silva <sup>5</sup>

Nadjacleia Vilar Almeida <sup>6</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Adaptação climática, Desastres naturais, Gestão de crise, Modelagem Multicritério, SIG.

## RESUMO

As mudanças climáticas, impulsionadas pelas ações antrópicas, viabilizam eventos extremos. Essas alterações promovem aumento da intensidade pluviométrica e consequentes inundações causando transtornos nas esferas social, econômica e ambiental. Diante disso é imprescindível desenvolver mecanismos preditores tendo em vista o planejamento e a gestão territorial. Nesse sentido, a presente pesquisa objetiva analisar o risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Boacica (BHRB) localizada no baixo São Francisco. Utilizou-se procedimentos metodológicos baseados em fatores geomorfológicos (declividade, altimetria, tipo de solo), hidrológicos (hidrografia e precipitação) e antrópicos (uso e cobertura do solo e perímetro urbano) buscando compreender os processos geodinâmicos integrados. Cada fator foi reclassificado, atribuindo-se valores em escala de 0 a 10, com valores crescentes que determinam maior importância associada ao risco. Foi elaborada uma Análise Hierárquica de Processos (AHP) construindo uma matriz de comparação pareada, determinação de pesos e análise de consistência dos dados. Para geração da escala de risco à inundação na bacia, utilizou-se o método de álgebra de mapas a partir da combinação dos fatores selecionados. Os resultados demonstram que o perímetro urbano, declividade e hidrografia obtiveram os maiores pesos atribuídos a partir da AHP (0.29, 0.28 e

- <sup>1</sup> Mestre pelo Curso de Ecologia e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [rhafaleal@gmail.com](mailto:rhafaleal@gmail.com)
- <sup>2</sup> Graduando do Curso de Ecologia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [rfss2@academico.ufpb.br](mailto:rfss2@academico.ufpb.br)
- <sup>3</sup> Mestranda do Curso Ecologia e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [thais.souza2@academico.ufpb.br](mailto:thais.souza2@academico.ufpb.br)
- <sup>4</sup> Graduado pelo Curso de Ecologia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, [david.santos.rag@gmail.com](mailto:david.santos.rag@gmail.com)
- <sup>5</sup> Doutora em Geografia pela UFPE, professora adjunta do Departamento de Engenharia e Meio Ambiente do Centro de Ciências Aplicadas e Educação da UFPB, [milena.dutra@academico.ufpb.br](mailto:milena.dutra@academico.ufpb.br)
- <sup>6</sup> Professor orientador: Doutora em Geografia pela UFF, professora associada do Departamento de Engenharia e Meio Ambiente do Centro de Ciências Aplicadas e Educação da UFPB, [nadjacleia.almeida@academico.ufpb.br](mailto:nadjacleia.almeida@academico.ufpb.br)



0.16). A razão de consistência apresentou valores abaixo de 10% indicando um grau satisfatório da matriz de decisão. Em um total de 753 km<sup>2</sup> da BHRB 84% possui baixo risco à inundação; as áreas urbanas, sobretudo as localizadas às margens dos rios de maior ordem, apresentaram risco elevado. Sobre as áreas classificadas como de risco moderado à inundação, têm como características predominantes uma declividade entre 0 e 3%, rede de drenagem de 8<sup>a</sup> a 10<sup>a</sup> ordem e altimetria entre 0 e 200m. O estudo revelou que a análise das áreas urbanas, atrelada às características de declividade e hidrografia, tem especial contribuição na detecção de risco à inundação. São indicadas como áreas de risco prioritárias para intervenção as áreas urbanizadas às margens de rios de maior ordem. A análise multicritério é aplicável para detecção e prevenção visando o planejamento territorial adequado mediante a presença de eventos de inundação.

## INTRODUÇÃO

O território passa por processos de modificações naturais, porém essas mudanças vêm sendo aceleradas em função das ações de origem antrópica. Como consequências das práticas de exploração da cobertura terrestre o planeta está passando por extremos climáticos, que tem aumentado tanto em frequência quanto em intensidade (Korb, 2020).

Em escala global, vários eventos meteorológicos extremos estão se tornando recorrentes, como secas severas, grandes volumes pluviométricos, inundações (Capua; Rahmstorf, 2023). No Brasil, em 2024, o estado do Rio Grande do Sul foi acometido por um dos piores desastres já ocorridos no país gerados por chuvas intensas e consequente inundação, demonstrando a necessidade da elaboração de políticas públicas para o enfrentamento dos impactos gerados pelas tragédias climáticas (Debone et al., 2024). Na região nordeste, pesquisas conduzidas por Gesualdo; Benso; Mendiondo (2023) apontaram um aumento no número de eventos de inundação em função dos grandes picos de vazão, volume e duração das precipitações.

O Baixo São Francisco (BSF), por suas características geomorfológicas e forte antropização do território, vem sofrendo impactos relacionados aos extremos climáticos. A várzea do Boacica, compostas pelos municípios de Penedo e Igreja Nova no estado de Alagoas, teve áreas inundadas em decorrência das intensas chuvas ocorridas no inverno de 2022. O evento provocou implicações nas esferas econômica, ambiental e social. Famílias ficaram ilhadas no chamado “perímetro da irrigação” e houve registro de contaminação da água por produtos químicos acumulados nos solos (InfoSãoFrancisco, 2022).

A inundação pode ser definida pelo transbordamento dos corpos d’água mediante a insuficiência de transporte do leito fluvial (Tucci; Bertoni, 2003). Ocorrem em função



das chuvas intensas em áreas nas quais existem falhas na drenagem, alteração ou obstrução da drenagem dos rios (Tucci, 2007). Os desastres estão associados a riscos à vida humana (Debone et al., 2024) e à integridade do meio ambiente (Zhang et al., 2024; Aldardasawi; Eren, 2021).

Fatores físicos e antrópicos podem influenciar diretamente a ocorrência das inundações. Dentre os aspectos, destacam-se a declividade do terreno, pedologia, altimetria, rede de drenagem, precipitação e uso e ocupação da terra (Cury et al., 2021; Rezende; Marques; Oliveira, 2017). Todos os fatores contribuem para avaliação da extensão das áreas afetadas pelas inundações.

Os impactos oriundos dos desastres são os mais diversos. No contexto ambiental, os desdobramentos provocam saturação e infertilidade do solo, erosão, contaminação das águas (Aldardasawi; Eren, 2021). No âmbito social, as inundações comprometem a saúde pública acarretando também prejuízos econômicos (Debone et al., 2024).

Buscando a compreensão da dinâmica estabelecida pela Bacia Hidrográfica do Rio Boacica (BHRB) é crucial desenvolver alternativas norteadoras que possam subsidiar políticas de adaptação diante do cenário das mudanças climáticas. Nesse sentido, é possível identificar quais fatores físicos e antrópicos que mais influenciam o risco à inundação na BHRB? A análise desse conjunto de fatores indicaria quais regiões mais susceptíveis à inundação dentro da bacia?

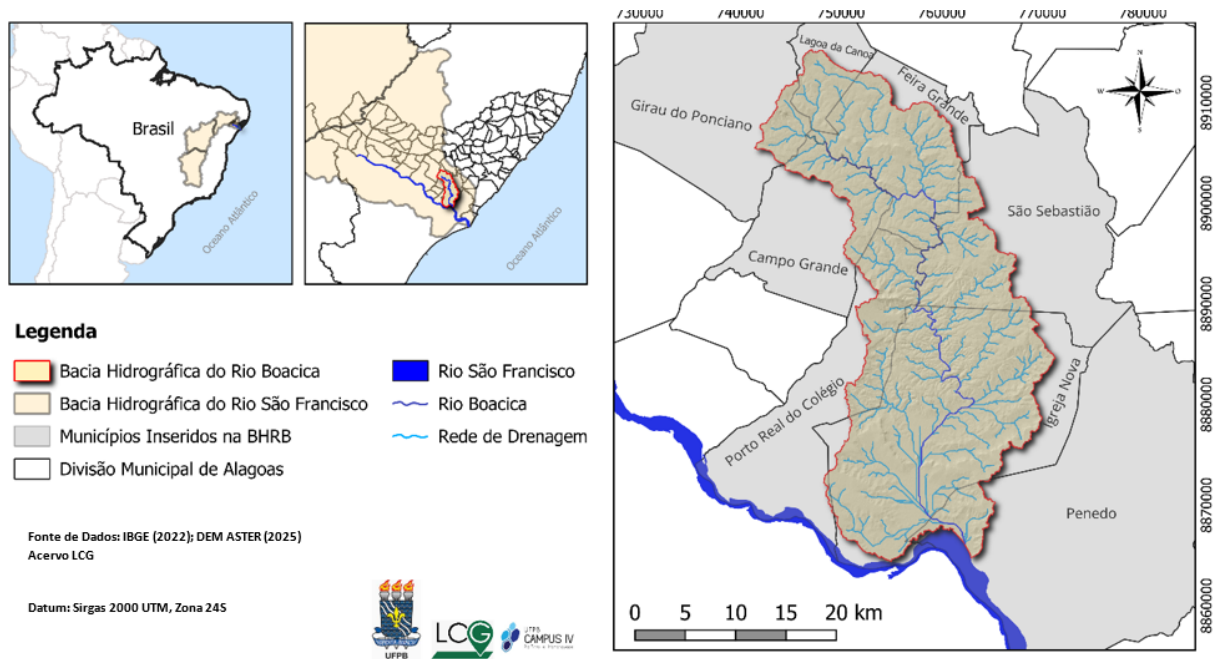
Assim, a pesquisa objetiva analisar e identificar as áreas de risco à inundação na BHRB, tendo em vista o histórico de alagamento no baixo curso do São Francisco. Para tanto, será utilizada a abordagem de análise multicritério baseando-se nos aspectos geomorfológicos, hidrológicos e antrópicos. Pretende-se desenvolver um diagnóstico espacial voltado para identificação das áreas de risco à inundação na bacia, que auxiliem no planejamento territorial e nas políticas adaptativas para o enfrentamento as mudanças climáticas perante os extremos climáticos.

## **METODOLOGIA**

O estudo foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Boacica (BHRB), situada em umas das quatro regiões fisográficas da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco denominada Baixo São Francisco (Fig.1). Localizada no estado de Alagoas, a BHRB abrange 8 municípios (Campo Grande, Feira Grande, Girau do Pociano, Igreja Nova, Lagoa de Canoa, Penedo, Porto Real do Colégio e São Sebastião) possuindo extensão de 753 km<sup>2</sup>, tendo como seu principal afluente o Rio Boacica (RB).



FIGURA 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Boacica (RHRB).



**FONTE:** Autores (2025).

A bacia é caracterizada por um relevo predominantemente plano, com altitudes variando entre 0 a 357 metros, com características climáticas As (zona tropical com verão seco), segundo a classificação Köppen (Alvares *et al.*, 2013) e regime pluviométrico médio anual de 971 mm (INMET, 2025). A BHRB possui biomas de Mata Atlântica e Caatinga, com predominância da classe pastagem do uso e cobertura da terra (MapBiomas, 2024).

Sobre os aspectos socioeconômicos dos municípios partícipes da bacia, a região possui população de 217.304 habitantes, com destaque para heterogenidade econômica de acordo com o Produto Interno Bruto (PIB) estadual, recebendo destaque de 2º posição para o município de Igreja Nova e 85º para Porto Real do Cólégio e Campo Grande, em relação as demais cidades do do estado de Alagoas (IBGE, 2022).

A pesquisa foi estruturada através da metodologia multicritérios em conjunto com a Analytic Hierarchy Process - Análise Hierárquica de Processos (AHP). A sistemática escolhida é amplamente utilizada em pesquisas relacionadas a temática (Silva, Souza e Maniesi, 2024; Cury *et al.*, 2021; Caprario, 2017; Rezende *et al.*, 2017).

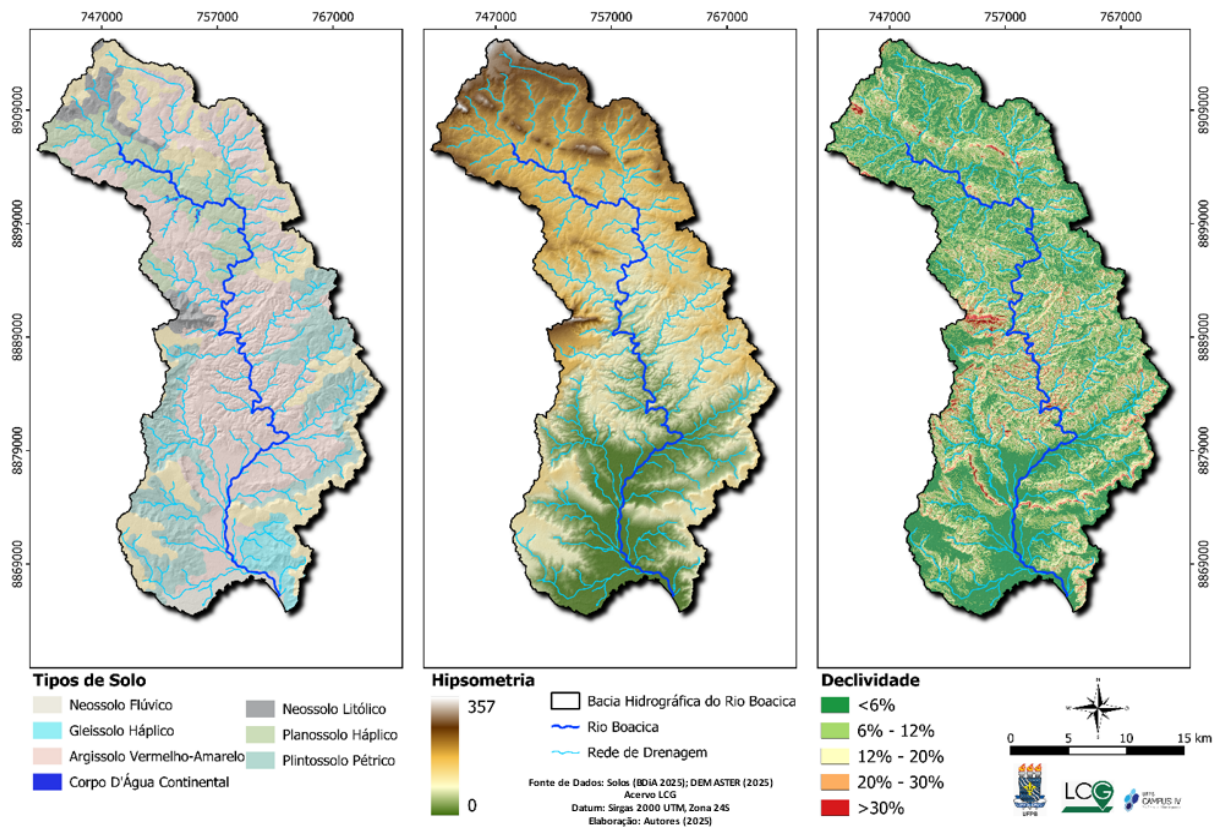
Para tanto o estudo foi desenvolvido em três etapas principais: A seleção das variáveis condicionantes, a aplicação AHP e a integração dos dados via álgebra de mapas, melhores descritas abaixo:

Fatores geomorfológicos, hidrológico e antrópicos foram selecionado conforme nível de relevância observados em pesquisas desenvolvidas em áreas urbanas e rurais



(Caprario, 2017; Rezende, Marques e Oliveira, 2017; Cury *et al.*, 2021; Paiva, 2024). Os fatores geomorfológicos (altimetria, declividade) foram gerados a partir de Digital Elevation Model (DEM), com resolução espacial de 30 metros, obtidos a partir de imagens do satélite ASTER *Global Digital Elevation Model V003* (Fig. 2).

FIGURA 2. Fatores geomorfológicos da BHRB.



FONTE: Autores (2025).

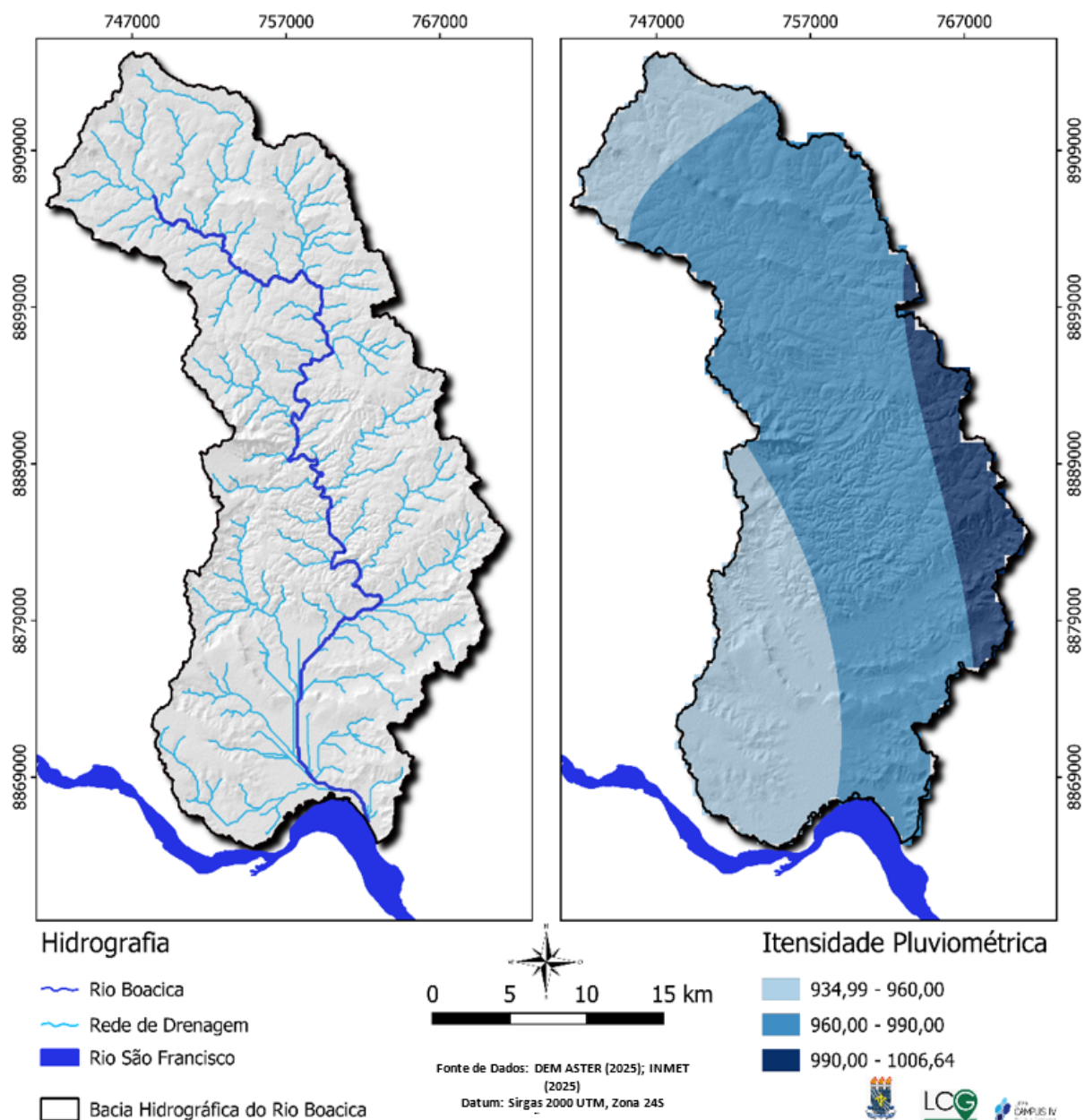
A altitude da bacia varia de 0 a 357 metros. A declividade foi elaborada por meio do plugin slope, nativo do Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS versão 3.34.8 e as classes seguiram as categorias hierárquicas postulada por Ross (1994), no qual considera declividades de até 6% muito fraca e acima de 30% muito forte, sendo esses indicativos de riscos de deslizamentos e inundações. A pedologia presente na região constitui-se em plintossolos, planossolos, neossolos, latossolos, gleissolos e argissolo, sendo o último predominante. Conforme Satori, Lombardi Neto e Genovez (2004) o argissolo vermelho-amarelo enquadra-se no grupo hidrológico C, caracterizado por baixa capacidade de absorção da água favorecendo o acúmulo de água na superfície.

Para os fatores hidrológicos, foram considerados a rede hidrográfica da bacia, classificada pela ordem dos rios (Fig.3). Nesse sentido, foi necessário realizar o ordenamento do DEM através do *plugin Strahler Order (Terrain Analysis)*, presente no QGIS versão 2.18.1. Pesquisas desenvolvidas por Robaina, Kormann e Schirmer (2013)



no qual utilizaram a ordem dos rios como fator importante relacionados ao processo de inundação, afirmaram que quanto maior a ordem do rio, maior será a condição de perigo de inundação. Para a precipitação, foram utilizados os dados da normal climatológica (1991 – 2020) de dez postos pluviométricos, obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

FIGURA 3. Fatores hidrológico da BHRB.



FONTE: Autores (2025).

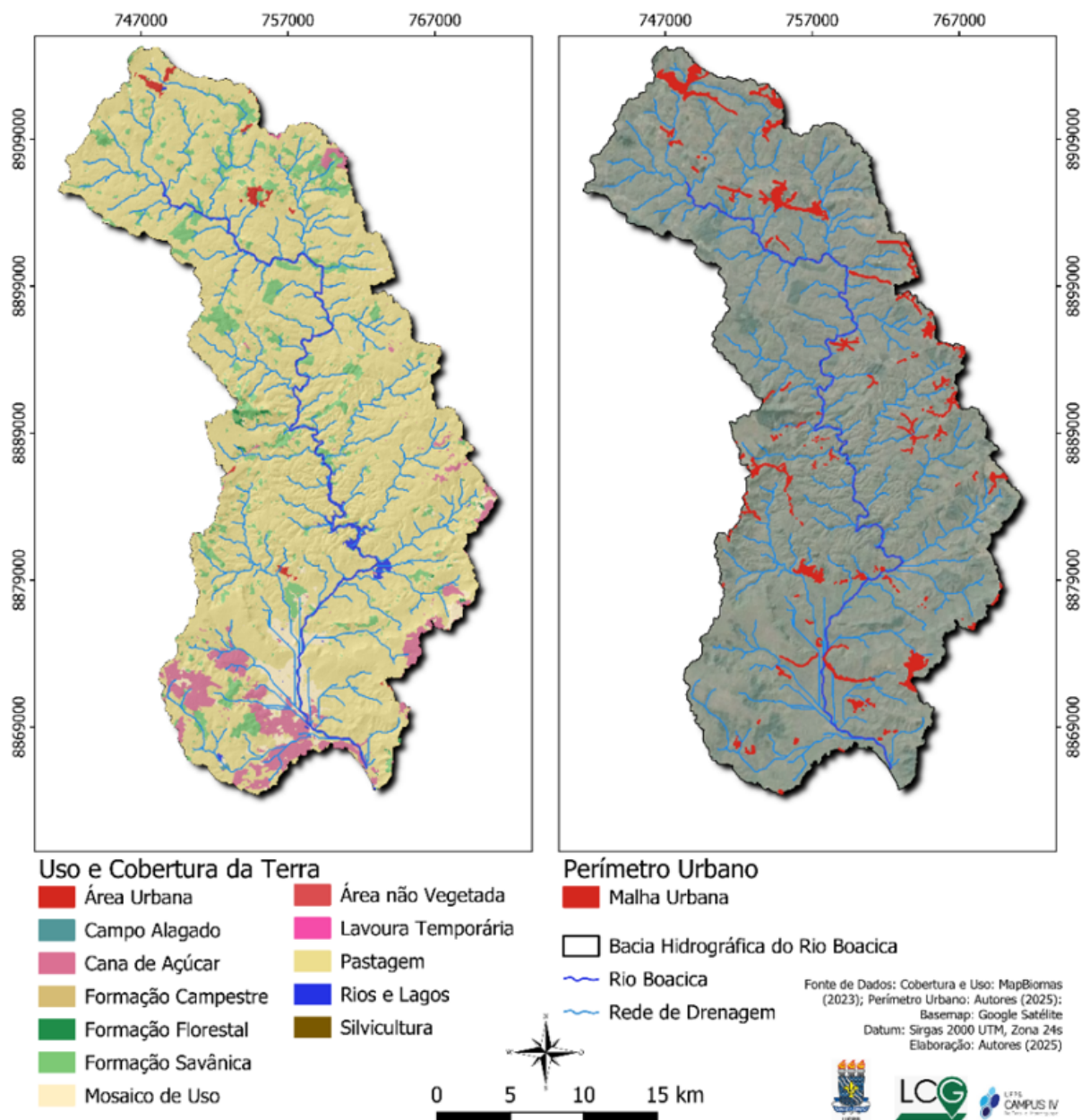
Os dados de precipitação foram tratados através da ferramenta de interpolação *Inverse Distance Weighted*, hospedada no QGIS versão 3.34.8. A mesma tem a



funcionalidade de gerar a média ponderada dos postos pluviométricos analisados. De acordo com Tucci e Bertoni (2003), os processos climáticos, em diversas escalas, promovem inundações, sobretudo pelo excesso do volume precipitado.

Os aspectos antrópicos selecionados para o desenvolvimento da metodologia estão ligados aos modos de uso, cobertura e a forma de ocupação no território (Fig.4). Nesse sentido, foi utilizado imagens de uso e cobertura do projeto MapBiomas – Coleção 9 (2023).

**FIGURA 4.** Fatores antrópicos da BHRB.



**FONTE:** Autores (2025).



A reclassificação das classes de uso e cobertura foi adaptada conforme a pesquisa de Caprario (2017). Nessa pesquisa, foi incluída a área urbanizada como fator isolado. A escolha dessa inclusão é justificada pelo fato de a bacia apresentar predominância de usos agrícolas.

Dando continuidade a preparação dos dados para a elaboração do mapa de risco à inundação, foi preciso realizar a reclassificação desses critérios, visando sua posterior aplicação no método AHP. Essa atribuição foi gerada por meio do plugin reclassify no QGIS versão 3.34.8, permitindo a reclassificação dos dados utilizados na análise. Os critérios altimetria, declividade, tipo de solo, hidrografia, precipitação, uso e cobertura da terra e perímetro urbano foram reclassificados conforme os valores apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1.** Classificação e ponderação das classes dos fatores de influência.

FATORES		CLASSES	VALORES	AUTOR
Geomorfológico	Altimetria (m)	0 - 50	10	Cury et al., 2021
		50 - 100	9	
		100 - 150	9	
		150 - 200	8	
		200 - 250	7	
		250 - 300	6	
		300 - 350	5	
		350 - 400	4	
	Declividade (%)	0 - 6	10	Adaptado de Caprario, 2017
		6 - 12	9	
		12 - 24	5	
		24 - 30	4	
		>30	4	
	Tipo de Solo	Gleissolo	10	Caprario, 2017
		Planossolo	8	
		Argissolo	5	
		Latossolo	5	
Plintossolo		4		
Neossolo		3		
Hidrológico	Precipitação (mm)	900 - 1200	4	Caprario, 2017
	Hidrografia	1ª	1	Cury et al., 2021
		2ª	2	
		3ª	4	
		4ª	6	
		5ª	8	
		>=6ª	10	



Antrópico	Uso e cobertura	Rios e Lagos	10	Adaptado de Caprario, 2017
		Campo Alagado	9	
		Área Urbana	8	
		Área não Vegetada	7	
		Cana de Açúcar	5	
		Mosaico de Uso	5	
		Lavoura Temporária	5	
		Pastagem	4	
		Silvicultura	4	
		Formação Campestre	3	
		Formação Florestal	1	
		Formação Savânica	1	
	Perímetro Urbano	Existência	10	Autores, 2025

**FONTE:** Autores (2025).

Após a reclassificação das variáveis, foram atribuídos pesos às variáveis condicionantes. Os pesos foram definidos com base na escala de Saaty (1987) que varia de 1 a 9 conforme o grau de importância (tabela 2).

**TABELA 2.** Escala Fundamental de critérios

GRAU DE IMPORTÂNCIA	DESCRIÇÃO
1	Igual importância
3	Importância moderada
5	Essencial ou forte importância
7	Importância muito forte
9	Importância Extrema
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

**FONTE:** Adaptado de Saaty (1987).

Com base nos dados reclassificados, elaborou-se uma matriz de decisão, segundo a metodologia AHP. A matriz consiste em uma comparação pareada entre critérios, permitindo o estabelecimento da importância relativa de cada fator, com base em julgamentos subjetivos fundamentados por profissionais<sup>7</sup> com experiência na área, o que garante o embasamento técnico das ponderações. Cada peso atribuído está relacionado ao nível de contribuição para o evento acontecer, ou seja, o aumento do risco à inundação.

A matriz de decisão parametrizada pela calculadora de prioridade AHP<sup>8</sup> estabeleceu as prioridades dos fatores elencados com base em julgamentos comparativos (tabela 3).

<sup>7</sup> Professoras pesquisadoras, coautoras da presente pesquisa, que participaram da Expedição Científica do Baixo São Francisco.

<sup>8</sup> Resultados obtidos através da Calculadora de Prioridade - <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?lang=pt>



**TABELA 3.** Matriz de decisão dos fatores condicionantes.

FATORES	1	2	3	4	5	6	7
1	1	3	1	2	5	7	9
2	0.33	1	0.33	2	5	5	3
3	1	3	1	2	5	7	8
4	0.5	0.5	0.5	1	5	3	7
5	0.2	0.2	0.2	0.2	1	2	1
6	0.14	0.2	0.14	0.33	0.5	1	1
7	0.11	0.33	0.12	0.14	1	1	1

(1) Perímetro Urbano, (2) Hidrografia, (3) Declividade, (4) Altimetria, (5) Uso e cobertura, (6) Precipitação, (7) Solos.

**FONTE:** Autores (2025).

Em seguida, desenvolveu-se uma matriz de comparação pareada, na qual cada critério é verificado conforme o nível de importância. A partir dela, obteve-se o maior autovetor, que consiste no somatório da multiplicação do resultado da soma dos fatores por cada peso atingido na matriz de comparação. O somatório do maior autovetor, subtraído do número de fatores, dividido pelo número de fatores e subtraído de um, resulta no Índice de Consistência (IC) necessário para o cálculo da Razão de Consistência (RC). Para a obtenção do Índice Randômico (IR) é considerado o somatório de cada maior autovetor. Esse valor do índice baseia-se na tabela de Índices Randômicos proposto por Saaty (1987) e sua equivalência é guiada pelo valor a ser utilizado para os cálculos da Razão de Consistência (RC) (tabela 4).

**TABELA 4.** Valores dos IR da matriz de ordem n .

Nº DE VARIÁVEIS (N)	1	2	3	4	5	6	7
ÍNDICE RANDÔMICO	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

**FONTE:** Autores (2025).

Para fins de validação da metodologia, foi aplicado o RC, que é resultado do produto do IC pelo IR e tem por finalidade assegurar que os pesos calculados estão dentro do tolerável. Segundo Caprario (2017) o valor obtido através da RC deve ser menor que 10%, sendo este indicativo de confiabilidade da matriz de decisão.

A geração do mapa de risco à inundação consiste na última etapa da análise multicritério, que visa integrar os fatores previamente ponderados. Para a combinação dos fatores, utilizou-se a técnica de álgebra de mapas em ambiente SIG, através da ferramenta *raster calculator*, por permitir a multiplicação de cada camada de acordo com os pesos obtidos na matriz de decisão, conforme a equação 1:



$$RI = (V * PU) + (V * OR) + (V * D) + (V * A) + (V * LULC) + (V * P) + (V * S)$$

**Onde:**

**RI:** Risco à inundação| **A:** Mapa de Altimetria| **D:** Mapa de declividade| **S:** Mapa de Solo| **OR:** Mapa de ordem dos rios| **P:** Mapa de precipitação| **LULC:** Mapa de Uso e Cobertura da terra| **PU:** Mapa de perímetro urbano| **V:** Valor do peso de cada fator.

Como produto resultante é gerado um mapa temático com cinco categorias, que vai do muito baixo até muito elevado risco à inundação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise multicritério obtida pela aplicação do método AHP, permitiu selecionar e hierarquizar os fatores que exerceram mais influência no risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Boacica (BHRB).

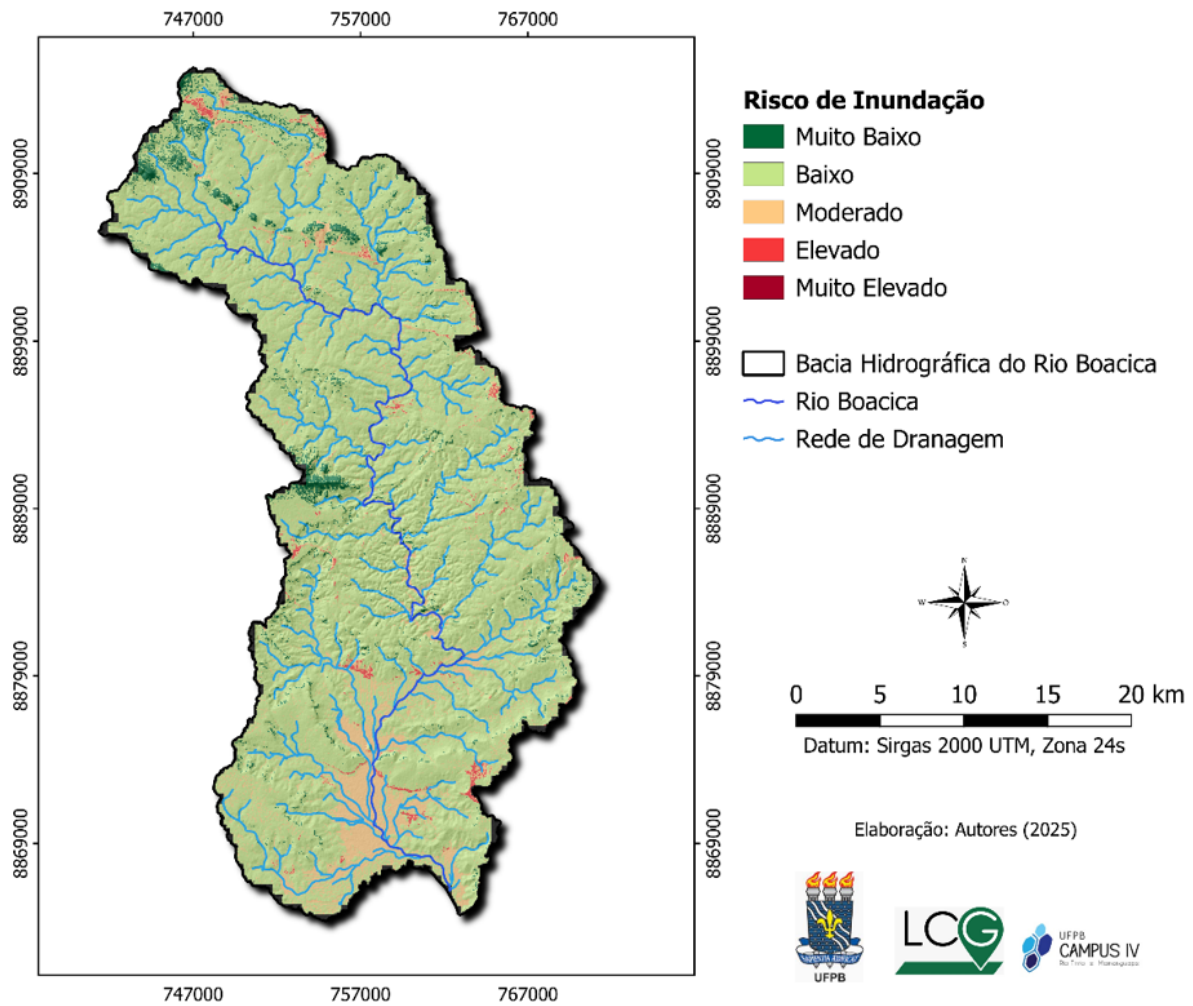
A partir da calculadora de prioridade (AHP) foi possível alcançar o ranking dos fatores prioritários. O fator perímetro urbano obteve o maior peso (0,29), seguido da declividade (0,28), hidrografia (0,16), altimetria (0,15), uso e cobertura da terra (0,05), precipitação (0,04) e pedologia (0,03). Pesquisas desenvolvidas por Rezende, Marques e Oliveira (2017), na qual a área analisada é predominantemente urbanizada, apontam a declividade como fator mais relevante na atribuição dos pesos e as baixas declividades estão espacialmente localizadas no perímetro urbano e próximas a cursos d'água.

O IC da pesquisa resultou em 0,06 e somatório do autovetor de 7,359. Conforme categorização da tabela de valores proposta por Saaty (1987) o presente estudo atingiu o valor de IC de 1,32. Os resultados adquiridos através desses índices subsidiaram os cálculos da RC, atingindo o valor de 95,47% de consistência, validando a matriz de decisão e indicando que o método AHP pode ser utilizado nesse estudo de caso.

O mapa de risco à inundação (Fig.5), elaborado a partir da combinação dos fatores ponderados pela álgebra de mapas, resultou na classificação de 5 categorias (muito baixa, baixa, moderada, elevada e muito elevada).



**FIGURA 5.** Mapa de risco à inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Boacica.



**FONTE:** Autores (2025)

A análise apontou que 84% da BHRB apresentou baixo risco   inundação. Esse fato é explicado pelas características da bacia, onde 70% da BHRB é composta pela classe de uso pastagem, considerada como área rural, além da declividade predominante ser suavemente ondulado a ondulado. Lima (2024), ao analisar o risco   inundação para a bacia do rio Jacuípe AL/PE, aponta que muito embora áreas com características declivosas e com presença de cobertura vegetal ofereça baixo risco   inundação, o risco em si não seria nulo, pois a declividade favorece o escoamento superficial para áreas baixas e fundos de vales, pontos esses de pontencial elevado de inundação.

As áreas classificadas com moderado risco somaram 12% do total, a pesquisa revelou que as mesmas localizam-se nas proximidades dos cursos d'água acima da 8<sup>a</sup> ordem, geralmente inserida nas plan cias de inundação da bacia, apresentando ainda baixa altimetria e declividade, com presença abundante do tipo de solo argissolo vermelho-amarelo. Cury *et al.*, (2021), ao mapear as áreas suscetíveis à



inundação como ferramenta de gestão e planejamento de bacias hidrográficas, identificou que as áreas classificadas com média suscetibilidade à inundação são fortemente antropizadas, com presença de matriz agropecuária e pouca presença de áreas urbanizadas. Sobre a ocorrência do argissolo vermelho-amarelo, Satori, Lombardi Neto e Genovez (2004) aponta que esse tipo de solo possuem baixa infiltração e baixa resistência a erosão, favorecendo assim, a rápida saturação do solo permitindo o acúmulo de água nas superfícies.

As áreas de elevado risco e muito elevado à inundação são pouco representativas na BHRB quanto a extensão, no entanto, espacialmente concentram-se em áreas fortemente urbanizadas, geralmente nas proximidades dos leitos fluviais de maior ordem e geograficamente às margens ou ocupando várzeas. Ademais, uma porção destacada de risco elevado estão nas mediações do Rio Boacica, que teve parte do leito natural retificado para implantação da rizicultura irrigada. Pesquisas realizadas por Rezende, Marques e Oliveira (2017), Paiva, Ferreira e Vianna (2024) e Lima (2024) destacaram que as áreas de alto risco são constituídas por regiões urbanizadas e próximas aos rios, corroborando com os resultados da presente pesquisa. Os autores apontam ainda, que a expansão urbana contribui negativamente com o risco à inundação, pois o aumento da impermeabilização reduz a capacidade de infiltração no solo da água precipitada, favorecendo o escoamento superficial.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da abordagem multicritério evidenciou a importância da interação entre fatores geomorfológicos, hidrológicos e antrópicos para identificação dos riscos à inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Boacica (BHRB). Os resultados revelaram que a expansão urbana, a baixa declividade e a proximidade dos rios, sobretudo os de maior ordem, foram os fatores mais relevantes para a identificação dos riscos, permitindo reconhecer os aspectos físicos e antrópicos que mais influenciam o risco a inundação na BHRB.

O uso da metodologia de Análise Hierárquica de Processo (AHP) mostrou-se eficiente na ponderação dos critérios elencados, possibilitando a delimitação das áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundações. A aplicação demonstrou robustez no mapeamento de áreas prioritárias para ações preventivas, revelando-se uma ferramenta confiável para o planejamento territorial e gestão de risco.

A utilização da ferramenta apresenta grande potencial de replicação em outras bacias hidrográficas, sendo este um instrumento valioso de suporte para a adaptação no enfrentamento das mudanças climáticas perante eventos de inundação.



## Agradecimentos:

Os autores agradecem ao Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento (LCG) e à Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e a Expedição Científica do Baixo São Francisco.

## REFERÊNCIAS

- ALDARDASAWI, A. F. Mohammad; EREN, Beytullah. Floods and Their Impact on the Environment. **Academic Perspective Procedia**, v. 4, n. 2, p. 42–49, 6 nov. 2021. Disponível em: <https://www.acperpro.com/document/ISHAD2021ID24>. Acesso em: 08 jul. 2025.
- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref). Acesso em: 10 jul. 2025.
- CAPRARIO, Jakcemara. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas**. Dissertação - Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/176913>. Acesso em: 15 de jan. 2025.
- CAPUA, Giorgia Di; RAHMSTORF, Stefan. Extreme weather in a changing climate. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 10, p. 102001, 1 out. 2023. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acfb23>. Acesso em: 08 jul. 2025.
- CURY, Marlon Domingos; LADWIG, Nilzo Ivo; MENEGASSO, Juliana Debiasi; SUTIL, Thaise; CONTO, Danrlei de. MAPEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO COMO INFORMAÇÃO PARA O PLANEJAMENTO E A GESTÃO TERRITORIAL EM BACIA HIDROGRÁFICA. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 83, p. 160–175, 4 out. 2021. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/56231>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- DEBONE, Daniela; TAVELLA, Ronan Adler; COLOMBO, Arnaldo Lopes; GALES, Ana Cristina; JÚNIOR, Flávio Manoel Rodrigues da Silva; MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. Is It Time to Build an Ark? The Reality of Climate Change in One of the Worst Climate Tragedies in Brazil. **MDPI AG**, 24 jun. 2024. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202406.1702/v1>. Acesso em: 09 jul. 2025
- EARTHDATASEARCH (**ASTER Global Digital Elevation Model V003**). Disponível em: [https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg\[0\]\[v\]=f&pg\[0\]\[gsk\]=-start\\_date&sb\[0\]=-37.125%2C-10.62676%2C-36.24609%2C-9.82712&fi=ASTER&tl=1687359878.626!3!!&lat=-10.266067885640595&long=-38.31591796875&zoon=7](https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg[0][v]=f&pg[0][gsk]=-start_date&sb[0]=-37.125%2C-10.62676%2C-36.24609%2C-9.82712&fi=ASTER&tl=1687359878.626!3!!&lat=-10.266067885640595&long=-38.31591796875&zoon=7). Acesso em: 10 mar. 2025.
- GESUALDO, Gabriela Chiquito; BENSO, Marcos Roberto; MENDIONDO, Eduardo Mario. Avaliação de eventos de inundações compostas espacialmente em bacias hidrográficas brasileiras. **XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**. 2023. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0486-1-20230610-125535.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- INFOSÃOFRANCISCO**. Dique da Várzea da Boacica: responsabilidade é da Codevasf, diz Prefeitura de Igreja Nova. 2023. Disponível em: <https://infosaofrancisco.canoadetolda.org.br/noticias/eventos-extremos/dique-da-varzea-da-boacica-responsabilidade-e-da-codevasf-diz-prefeitura-de-igreja-nova/>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- INSTITUTO BASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)**. BDIA, 2025. Brasil. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- INSTITUTO BASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)**. Cidades@, 2022. Brasil. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 10 mar. 2025.



**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET).** Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP): estação meteorológica. Brasília: INMET, 2025. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

KORB, Kevin. **How Extreme Weather Events Are Attributed to Anthropogenic Global Warming.** California Digital Library (CDL), 11 jul. 2020. Disponível em: <https://eartharxiv.org/repository/view/95>. Acesso em: 20 jul. 2025.

LIMA, Ana Carolina Cavalcante. **Avaliação do risco a inundação para bacia hidrográfica do Rio Jacuípe (AL/PE) a partir do método de processo analítico hierárquico – AHP e técnicas de geoprocessamento.** 2024. 99 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/19494>. Acesso em: 08 jul. 2025.

MAPBIOMAS (BRASIL). **Coleção 9 Mapbiomas: Cobertura e uso da terra,** 2023. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 10 mar. 2025.

PAIVA, Larissa Carla Souza; FERREIRA, Cássia de Castro Martins; VIANNA, Yan Carlos Gomes. Mapeamento de áreas de risco de inundação do município de Ubá, Minas Gerais. **ENTRE-LUGAR**, 15(29), 194–215, 2024. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/entre-lugar/article/view/17425>. Acesso em: 08 jul. 2025.

REZENDE, Patrícia Soares; MARQUES, Daniela Vieira; DE OLIVEIRA, Luiz Antônio. Construção de modelo e utilização do método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para mapeamento de risco à inundação em área urbana. **Caminhos da Geografia**, v. 18, n. 61, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/31408/19973/157362>. Acesso em: 09 jul. 2025.

ROBAINA, Luis Eduardo de Souza; KORMANN, Tanice Cristina; SCHIRMER, Gerson Jonas. Zoneamento das inundações na área urbana de Alegrete – Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Geociências**. São Paulo, v. 32, n.2. p. 346-355, 2013. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/download/8339/5895>. Acesso em: 15 de jan. 2025.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais no Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63–74, 1994.

SAATY, R. W., 1987. The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. **Mathematical modelling [online]** 9. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SATORI, Anderson.; LOMBARDI NETO, Francisco.; GENOVEZ, Abel Maia Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 5–18, 2004. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=26&SUMARIO=440>. Acesso em: 15 de jan. 2025.

SILVA, Evanleide Rodrigues da; SOUZA, Reginaldo Martins da Silva de; MANIESI, Vanderlei. A suscetibilidade para a ocorrência de enchentes e inundações a partir da análise morfométrica da bacia do igarapé grande, Porto Velho, Rondônia. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 50, 2024. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/76867>. Acesso em: 08 jul. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Inundações Urbanas**. n. 1a, p. 393, 2007. Disponível em: [https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros\\_documentos\\_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF](https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/residuos/documentos-diversos/outros_documentos_tecnicos/curso-gestao-do-territorio-e-manejo-integrado-das-aguas-urbanas/drenagem1.PDF). Acesso em: 09 jul. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Abrh, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Juan-Bertoni/publication/266883894\\_INUNDACOES\\_URBANAS\\_NA\\_AMERICA\\_DO\\_SUL/links/56b352cd08ae3d06a26644e2/INUNDACOES-URBANAS-NA-AMERICA-DO-SUL.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Bertoni/publication/266883894_INUNDACOES_URBANAS_NA_AMERICA_DO_SUL/links/56b352cd08ae3d06a26644e2/INUNDACOES-URBANAS-NA-AMERICA-DO-SUL.pdf). Acesso em: 09 jul. 2025.

ZHANG, Yadong; LI, Zongkun; XU, Hongyin; GE, Wei; QIANC, Hui; LI, Jingjing; SUN, Heqiang; ZHANG, Hua; JIAO, yutie. Impact of floods on the environment: A review of indicators, influencing factors, and evaluation methods. **Science of The Total Environment**, v. 951, p. 175683, nov. 2024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S004896972405839X>. Acesso em: 07 jul. 2025.



# APLICAÇÕES DO SOFTWARE IBER NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PROPENSAS À INUNDAÇÃO

Anderson Augusto Volpato Scotti <sup>1</sup>  
Romario Trentin <sup>2</sup>  
Susana da Silva Pereira <sup>3</sup>  
Luis Eduardo de Souza Robaina <sup>4</sup>  
Carlos Valdir de Meneses bateira <sup>5</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Mapeamento, Modelo Hidráulico, Inundações.

## RESUMO

O uso de modelos estatísticos associados ao geoprocessamento tem apresentado grande potencial para a definição de áreas propensas à inundação. O uso do *software* IBER possibilita, por meio de um modelo 2 D, a simulação de cenários com o comportamento hidráulico de rios e estuários. Se caracteriza pelo baixo custo e fácil acesso, visto que as informações de entrada podem ser adquiridas em plataformas e bancos de dados livres. O objetivo deste trabalho é apresentar um resgate teórico sobre a utilização do *software* IBER, bases de dados e validação dos modelos. Inicialmente, foram consultados os trabalhos sugeridos no site do IBER. Posteriormente, iniciou-se uma pesquisa bibliográfica em indexadores, com destaque ao *ResearchGate* e Google Acadêmico. As seguintes palavras-chave foram utilizadas: “Uso do Software IBER”; “Modelo Hidráulico e IBER”; “Inundações e IBER”. As expressões foram utilizadas em português e inglês. Optou-se em dar preferência por artigos publicados em periódicos. À medida que os trabalhos foram localizados, somava-se à busca e ao embasamento teórico as referências bibliográficas citadas pelos autores, bem como, procedeu com a busca a outros artigos nos periódicos em que eles foram publicados. Após a localização dos trabalhos avaliaram-se as principais aplicações do *software* IBER, as fontes de dados utilizados pelos autores e o processo de validação dos modelos. Os resultados preliminares mostram que o modelo hidráulico 2D gerado com o IBER apresenta-se como uma importante ferramenta para simulação de cenários com vazões normais e excepcionais. Dentre as aplicações observaram-se trabalhos que utilizaram a modelagem para definição da profundidade (altura da água), velocidade de fluxo e transporte de sedimentos. Ao dar ênfase às inundações observa-se que o modelo permite a definição da área propensa e as diferentes profundidades. As principais fontes de dados são: dados de estações pluviométricas e fluviométricas; e modelos digitais de elevação, uso e cobertura da terra gerados com voos de Drones ou com dados de Sensoriamento

- 1 Professor, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [anderson.scotti@ufsm.br](mailto:anderson.scotti@ufsm.br)
- 2 Professor, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [romario.trentin@gmail.com](mailto:romario.trentin@gmail.com)
- 3 Professora Auxiliar, Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto - UP, [sspereira@letras.up.pt](mailto:sspereira@letras.up.pt)
- 4 Professor, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [lesrobaina@yahoo.com.br](mailto:lesrobaina@yahoo.com.br)
- 5 Professor Associado, Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto - UP, [carlosbateira@gmail.com](mailto:carlosbateira@gmail.com)



Remoto Orbital (dados disponíveis na USGS, ASF, outros). A validação dos modelos ocorre com o uso de dados de campo, registros de inundações históricas e produtos de sensoriamento remoto. Os modelos hidráulicos gerados com o IBER mostram-se muito efetivos, principalmente, para estudar as inundações. Além de possuir um conjunto de procedimentos considerados de baixo custo, mostra-se acessível para pesquisadores com conhecimentos básicos de hidráulica e geoprocessamento.

## INTRODUÇÃO

Os processos geomorfológicos naturais cada vez mais tem-se transformado em desastres naturais, resultando de uma intensificação na severidade associada ao avanço da urbanização em planícies de inundação ou em encostas declivosas propensas aos escorregamentos. Nos países em desenvolvimento esses processos naturais que se tornam causadores de danos, geram a cada ano um conjunto de perdas socioeconômicas (Alcantara Ayala, 2002).

Como tentativa de mitigação e/ou redução de danos, são planejadas ações estruturais e não estruturais. As ações estruturais, visam por meio de obras de engenharia, reduzir o impacto direto das inundações. Já as ações não estruturais, buscam por meio do planejamento e da identificação dos processos traçar propostas de mitigação, as quais envolvem o mapeamento do risco, a identificação de fatores condicionantes e a construção de cenários por meio de técnicas computacionais.

O uso de modelos estatísticos associados ao geoprocessamento e a informática, tem apresentado grande potencial para a definição de áreas propensas à inundação. O uso do software IBER possibilita, por meio de um modelo 2 D, a simulação de cenários com o comportamento hidráulico de rios e estuários. Se caracteriza pelo baixo custo e fácil acesso, visto que as informações de entrada podem ser adquiridas em plataformas e bancos de dados livres (Scoti *et al.*, 2024).

Para Sanz-Ramos *et al.* (2025) o *software* IBER é uma ferramenta de simulação hidráulica desenvolvido com o propósito de resolver problemas de engenharia hidráulica e ambiental. O programa nasceu em 2010 e é fruto de uma parceria interinstitucional e representa um *software* com boa aceitação para simular processos hidrodinâmicos associados a fluxos livres.

Conforme Bladé *et al.* (2014), o *software* IBER representa um modelo matemático bidimensional que permite simular um excedente de vazão em rios e estuários. O *software* é fruto de uma cooperação entre grupos de pesquisa das seguintes instituições: Universidade da Coruña; Universidade de Santiago de Compostela; Universidade Politécnica da Catalunya, Centro Internacional de Métodos Numéricos em Engenharia;



Centro de Estudos Hidrográficos de CEDEX. Ainda conforme os autores o IBER resolve as equações bidimensionais de Saint Venant e incorpora ao modelo resultante os efeitos de turbulência e atrito ao escoamento superficial (BLADÉ *et al.*, 2014)

A modelagem hidráulica obtida com o IBER pode ser considerada de baixo custo, visto que com dados hidrológicos e modelos digitais de elevação disponibilizados gratuitamente por órgãos oficiais, obtém-se uma modelagem adequada (Scoti *et al.*, 2024). As informações para validação do modelo também são de fácil aquisição, são compostas por produtos de sensoriamento remoto, séries hidrológicas ou trabalhos de campo (FERNANDEZ NÓVOA *et al.*, 2024)

A presente proposta visa apresentar um resgate teórico sobre a utilização do *software* IBER para a modelação das áreas inundáveis, bases de dados e validação dos modelos, baseado em pesquisa bibliográfica no *Researchgate* e Google Acadêmico. Com esse objetivo pretende-se ampliar o conhecimento sobre as vantagens e limitações na utilização do *software* e dos produtos na área da geografia.

## **METODOLOGIA**

Os procedimentos apresentados representam o percurso necessário para cumprir com o objetivo desse trabalho. Cabe salientar que os trabalhos localizados não representam a totalidade de publicações sobre o IBER, buscou-se enfatizar as publicações em revista científicas. Metodologicamente, a proposta está compartimentada em duas etapas: 1º coleta de artigos por meio do Google Acadêmico e *Researchgate*; 2º Análise dos artigos encontrados sobre a utilização do IBER com foco nas bases de dados e procedimentos de validação das modelagens.

### **PRIMEIRA ETAPA**

Para realizar a busca das publicações sobre as modelagens executadas pelo IBER, utilizou-se as seguintes palavras-chave: “Uso do *Software* IBER”; “Modelo Hidráulico e IBER”; “Inundações e IBER”. A pesquisa foi feita no *Researchgate* e no Google Acadêmico, tendo sido aplicado um filtro para que retornassem apenas trabalhos publicados em periódicos. Nesta pesquisa foram desconsiderados trabalhos apresentados em eventos científicos, monografias, dissertações e teses. Não foram aplicados filtros relativos ao ano da publicação.

As expressões selecionadas foram utilizadas em português e em inglês. Após localizados, os artigos foram descarregados e organizados em pastas, separados por indexador e idioma de publicação. Alguns artigos foram publicados em espanhol, sendo assim, optou-se por adicioná-los às pastas das publicações em português.

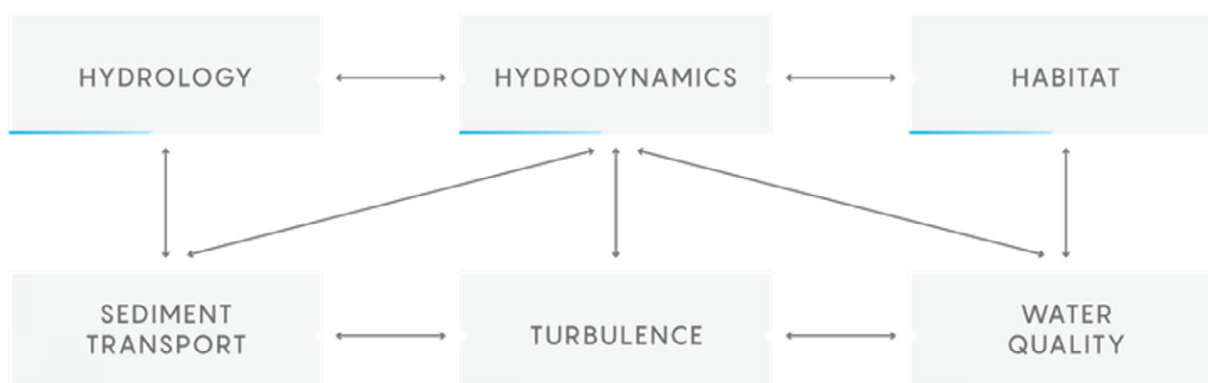


## SEGUNDA ETAPA

Na segunda etapa deu-se início à análise dos artigos encontrados. Como o propósito deste trabalho é ampliar a divulgação do IBER em língua Portuguesa, enfatizou-se nas discussões o conteúdo de alguns artigos, como: as bases de dados; as aplicações do *software*; modelos obtidos; e processos de validação dos modelos.

Para auxiliar na análise organizou-se um quadro com nome citação do artigo, título, revista e módulo. Conforme Bladé *et al.* (2014) os módulos disponíveis no IBER são: Modelo Hidrodinâmico bidimensional e processos hidrológicos (neste trabalho optou-se por agrupar e denominar de “Hidrodinâmica”); turbulência; transporte de sedimentos; qualidade da água; e habitat (figura 1).

**FIGURA 1:** Esquema apresentando os módulos disponíveis no IBER.



**FONTE:** IBER (<https://www.iberaula.es/53/iber-model/modules>)



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a pesquisa foram localizados trabalhos sobre os temas da hidrodinâmica, transporte de sedimentos, qualidade da água e habitats, contudo não retornou nenhum trabalho sobre a simulação de turbulência. No total foram identificados 29 artigos publicados em revistas especializadas, dos quais 22 foram localizados no ResearchGate e 8 no Google Acadêmico. Destaca-se que dos 29 artigos, 5 são repetidos, ou seja, foram localizados pelas duas plataformas, sendo assim, 24 são apresentados no presente trabalho.

Com relação aos idiomas de publicação, dos 24 artigos considerados nesse trabalho, 13 estão publicados em inglês; 5 em português; e 6 em espanhol. O fato da maioria das publicações ser em inglês possibilita uma ampliação no acesso e na divulgação do *software* e dos produtos gerados pelos módulos. O quadro 1 contém informações sobre o ano da publicação, títulos dos artigos, revista em que o artigo está publicado e produtos gerados.



**QUADRO 1:** Informações sobre os artigos encontrados no Researchgate e no Google Acadêmico.

AUTOR	TÍTULO	REVISTA	MÓDULO	MDE BASE	DADOS HIDROLÓGICOS (VAZÃO)	MANNING	VALIDAÇÃO
Amar et al. (2025)	2D modeling and flood hazard mapping of the El-Hai and Msakhska rivers in the city of Ain Beni Matar (NE Morocco)	Modeling Earth and Environment	Hidrodinâmica	MDE de 12,5 m de resolução. Não especificada a origem pelos autores	Software HEC-HMS e informações precipitação	Imagens de satélite disponíveis no Global Mapper	Trabalho de campo, observação dos níveis de inundação em eventos históricos.
García-Feal et al. (2018)	An Accelerated Tool for Flood Modelling Based on Iber	Water	Hidrodinâmica	*	*	*	Comparação com modelos existentes
Ahmadi; Triatmodjo; Benazir (2024)	Analysis of Gongseng Dam Break-Induced Flood in East Java, Indonesia Through 2D Iber Software	Journal of the Civil Engineering Forum	Hidrodinâmica	*	*	*	
García-Alén et al. (2022)	Analysis of two sources of variability of basin outflow hydrographs computed with the 2D shallow water model Iber: Digital Terrain Model and unstructured mesh size	Journal of Hydrology	Hidrodinâmica	MDT do Instituto Geográfico Nacional Espanhol (Resolução de 5 e de 25 metros). SRTM	Dados Pluviométricos: Instituto de Ecologia dos Pirineus; Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Miño-Sil; Agência Meteorológica Galega.	CORINE Land Cover 2018	Comparação visual dos hidrogramas observados e simulados
Scoti et al. (2024)	Definição das áreas propensas à inundação com uso de modelo hidráulico 2D do IBER: caso de estudo de Estrela e Lajeado/RS - Brasil	Finisterra	Hidrodinâmica	Alos Palsar	Oliveira et al. (2018)	MapBiomias	Comparação com modelos existentes e dados de campo
Martins; Gomes; Santos (2019)	Delimitação de áreas inundáveis no centro urbano de Amarante, norte de Portugal, utilizando o software IBER	Revista Brasileira de Geomorfologia	Hidrodinâmica	Câmara Municipal de Amarante (Portugal). Escala de 1:10.000	Estação Pluviométrica. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (Portugal)	Carta de Ocupação do Solo (COS) de Portugal Continental referente ao ano de 2010. Escala 1: 25 000.	Observações em campo e registro de eventos pretéritos.
Larrañaga; Carrero; Fernández (2021)	Estudio hidráulico bidimensional para el proyecto de rehabilitación del meandro "Los Garridos" en el río Jarama (Algete, Madrid)	Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales	Hidrodinâmica	Centro Nacional de informações geográficas - Espanha (1 metro de resolução espacial)	Registros de vazão CEDEX (Espanha)	Guia Metodológico para a Cartografia de Zonas Inundáveis (Espanha)	**
Sanz-Ramos et al. (2025)	Evolución de la modelización numérica bidimensional del flujo en lámina libre a través del software Iber	Ingeniería del Agua	Evolução da modelagem numérica utilizando o IBER	*	*	*	*
Azour et al. (2025)	Flood hazard modeling using GIS and IBER tools: an integrated approach	Water Conservation & Management	Hidrodinâmica	Modelo digital de Terreno com 30 metros	Vazão obtida com o software HEC-HMS com base em dados pluviométricos	Classificação de imagem de satélite, Google Earth Pro	**
Djafri et al. (2024)	Flood modeling using HEC-RAS 2D and IBER 2D: a comparative study	Water Supply	Hidrodinâmica	Alos World 3D	Hafnaoui et al., 2022	Google Earth Pro	Comparação de modelos
Fernandez-Nóvoa et al (2024)	How to mitigate flood events similar to the 1979 catastrophic floods in the lower Tagus	Natural Hazards and Earth System Sciences	Hidrodinâmica	MDE da Esri; Aster GDEM; SRTM; Copernicus DEM	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos de Portugal; Vazão CEDEX (Espanha)	CORINE Land Cover	Registros Históricos e marcas da Inundação
García et al. (2022)	Hydraulic modeling in Iber for flood prevention in the Tesechoacán river basin	Revista Mexicana de Ciencias Forestales	Hidrodinâmica	Organização da Bacia Central do Golfo (México)	Hidrograma registrado pela estação San José Chilapa	INEGI (México)	Imagens SPOT 4



## 10 - Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

Bladé et al. (2014)	Iber — River modelling simulation tool	Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería	Apresentação dos módulos do IBER	*	*	*	*
Brigido-Morales et al. (2024)	Modelación hidráulica de tres aforadores para mínima sedimentación	Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas	Transporte de sedimentos	*	*	*	*
Cotes García et al. (2024)	Modelación de la calidad del agua del río Cesar del 2020 mediante el software IBER	Documentos de Trabajo Areandina	Qualidade da água	**	**	**	Testes físicos e químicos <i>in situ</i>
Quijano et al. (2018)	Modelación hidrológica de la rotura de presa utilizando el software IBER	Revista NTHE	Hidrodinâmica – ruptura de represas	*	*	*	*
Sañudo; Cea; Puertas (2020)	Modelling Pluvial Flooding in Urban Areas Coupling the Models Iber and SWMM	Water	Hidrodinâmica	*	*	*	*
Zanata; Oliveira; Telles (2023)	O uso do software Iber para simulação de micro-habitats nos rios Pomba e Paraíba do Sul	Cuadernos de Educación y Desarrollo	Habitats	Copernicus DEM	Estações de monitoramento da Agência Nacional de Águas - ANA (Brasil)	**	Valores de Cotas das Estações de monitoramento da ANA
Pinos e Timbe (2019)	Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins	Water Science and Engineering	Hidrodinâmica	MDE - Sistema Nacional de Informações sobre Terras Rurais (Equador) – 3 metros de resolução espacial	Vazão - SENAGUA (Equador)	SENAGUA (Equador)	Comparação com modelos existentes
Balasz; Calvet; Tuset (2023)	Reconstrucción post-evento del <i>flash-flood</i> del 1 de septiembre de 2021 en Les Cases d'Alcanar (Tarragona)	Ingeniería del Agua	Hidrodinâmica	Malha do Instituto Cartográfico e Geológico da Catalonia e informações topográficas (RTK)	Informações Pluviométricas – Estação de Les Cases d'Alcanar (Espanha)	**	Trabalho de campo após evento; Fotografia aéreas capturadas após um evento de enxurrada
González-Cao et al. (2022)	The Rivillas flood of 5–6 November 1997 (Badajoz, Spain) revisited: An approach based on <i>Iber+</i> modelling	Journal of Hydrology	Hidrodinâmica	MDE - Centro Nacional de Informação Geográfica (Espanha) – 5 metros de resolução	Dados Pluviométricos da Estação de Talavera La Real (Espanha)	CORINE Land Cover	Altura da água em eventos passados
Cabral et al. (2024)	Uso do software IBER para modelagem e simulação de evento de inundação em Santo Antônio de Pádua – RJ	Cuadernos de Educación y Desarrollo	Hidrodinâmica	**	Vazão da barragem UHE Barra do Braúna (RJ) de responsabilidade da ANA	**	Dados do HidroWeb
Rincón et al. (2017)	Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes	Revista Gaceta Técnica	Hidrodinâmica	**	Dados Pluviométricos da Estação de Cubiro (Venezuela)	**	Comparação com eventos pretéritos e modelagens
Silva; Cardoso Junior; Noronha (2016)	Mapeamento e análise de risco de inundação da bacia do rio Paraíba/AL: estudo de caso	Revista Eletrônica Sistemas & Gestão	Hidrodinâmica	COHIDRO (2013) – Curvas de Nível de 1 metro	COHIDRO (2013)	Google Earth Pro	Modelo não foi verificado. Os autores recomendam trabalhos de campo e cotas linimétricas

\*trabalhos experimentais os quais não utilizaram uma base de dados referentes a uma porção do espaço geográfico ou discutem aspectos teóricos e evolutivos do software. \*\* não especificado no artigo

**FONTE:** autores



Dos trabalhos identificados, 15 tratam da modelação de processos hidrológicos, os quais envolvem a definição da suscetibilidade a inundações, enxurradas e alagamentos. Os artigos identificados apresentam diretamente a modelagem do IBER, ou então são produtos da comparação entre os dados gerados por diferentes *softwares*.

No trabalho publicado por Amar *et al.* (2025) os autores utilizaram o IBER para modelar as áreas propensas as inundações repentinas (*flash floods*), na cidade de Ain Beni Mathar, noroeste do Marrocos, após eventos de chuvas torrenciais. Para gerar o modelo hidráulico os autores utilizaram um modelo digital de elevação com resolução espacial de 12,5 metros (não é informado na metodologia qual o sistema sensor ou base cartográfica), as informações hidrológicas foram baseadas em series de precipitação coletadas no período de 1967 – 2017, para chegar aos dados os autores utilizaram método SCSCN (*Soil Conservation Service Curve Number*) disponível no HEC-HMS. Para definir os tipos de Manning os autores utilizaram imagens disponíveis no *Global Mapper*, mas, também, não foram apresentados os sistemas sensores utilizados. A validação da modelagem foi realizada com trabalhos de campo nas áreas afetadas, onde os autores catalogaram as áreas afetadas e as profundidades.

Outra aplicação da modelagem efetuada no IBER e no Marrocos, foi executada na região Al Hoceima por Azour *et al.* (2025). No artigo os autores apresentam uma comparação entre produtos obtidos com o IBER e com o HEC-RAS. Como MDE os autores utilizaram um produto de sensoriamento remoto com resolução espacial de 30 metros e que foi disponibilizado pela Agência de Urbanismo local. Os dados hidrológicos foram obtidos por meio de equações hidráulicas (Tempo de concentração e Vazão) e o tempo de retorno considerado foi de 100 anos. Os tipos de uso e cobertura foram obtidos após a análise das imagens de satélite (Construído, Vegetação Densa, Floresta, Infraestrutura e Vegetação Esparsa). Com os produtos gerados os autores apresentaram, com base na área suscetível e o tipo de uso, diferentes graus de risco. O foco do artigo é apresentar graus de risco, sendo assim, não houve uma avaliação minuciosa que compare os produtos do IBER e do HEC-RAS.

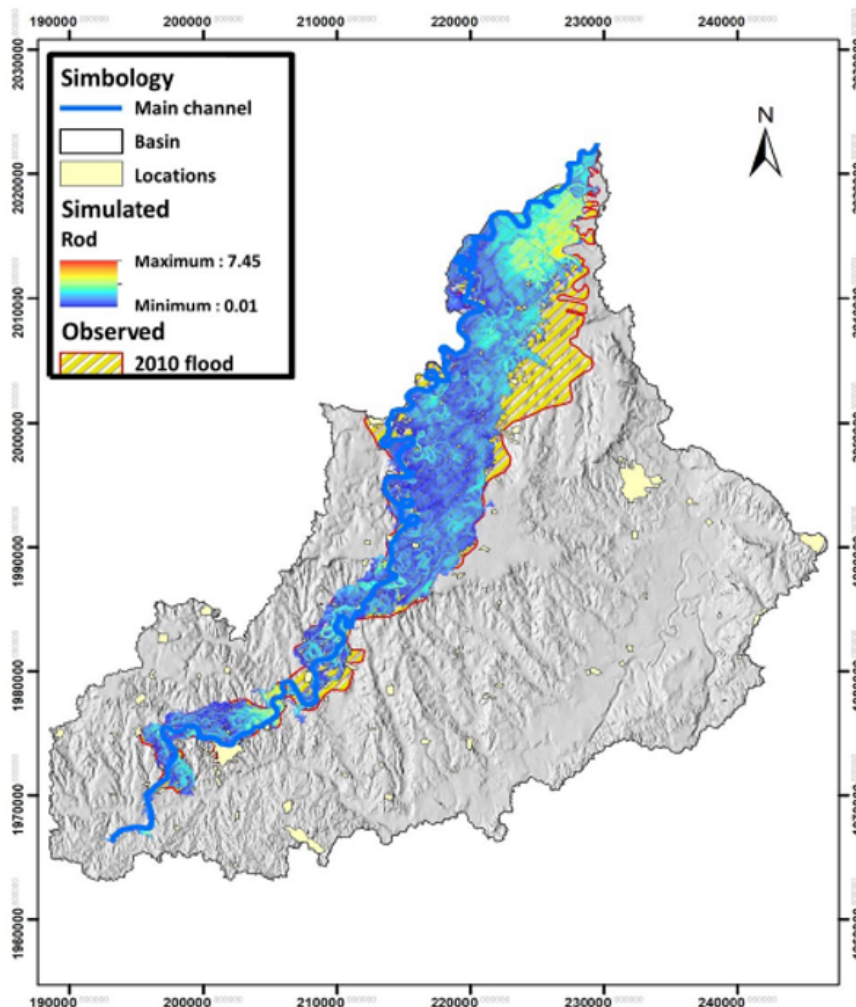
Em Portugal, Fenandez-Nóvoa *et al.* (2024) utilizaram o IBER para modelar a magnitude de um evento hidrológico ocorrido em 1979 que atingiu o baixo Tejo. Os dados diários de precipitação foram obtidos da base de dados IBERIA01 e as vazões do Sistema Nacional de Informações de Recursos Naturais. Os valores de *Manning* foram definidos por meio da base de dados CORINE (Copernicus). Os autores testaram diferentes modelos digitais de elevação, os quais foram: ESRI DEM; ASTER GDEM;



SRTM; e Copernicus DEM. A validação das modelagens ocorreu por meio de cotas registradas durante o evento em 1979 as quais foram comparadas com os resultados das modelagens, a comparação foi executada com base no diagrama de Taylor.

No México, García et al. (2022) usaram a modelagem executada pelo IBER para prevenir os efeitos danosos de inundações na bacia hidrográfica do rio Tesechoacán, no sul do país. Os dados hidrológicos foram obtidos da estação hidrométrica 28143 (*San José Chilapa*), os autores utilizaram os registros coletados durante a passagem do furacão Matthew (26/10/2010) foi construída uma malha não estruturada, onde foi alocado 7 metros para o canal principal e 70 metros para a planície aluvial, para a definição do leito do rio foram utilizados dados batimétricos da Comissão Nacional de Águas de 2011. A validação ocorreu por meio da avaliação de imagens SPOT 4, com resolução de 20 metros, que foram capturadas dias após o furacão, os autores extraíram a mancha de inundação e realizaram a sobreposição da modelagem obtida com o IBER, conforme mostra a figura 3.

**FIGURA 3:** processo de validação da modelagem executada, os autores da pesquisa consideram uma alta porcentagem de sobreposição com uma taxa de 84,69%.

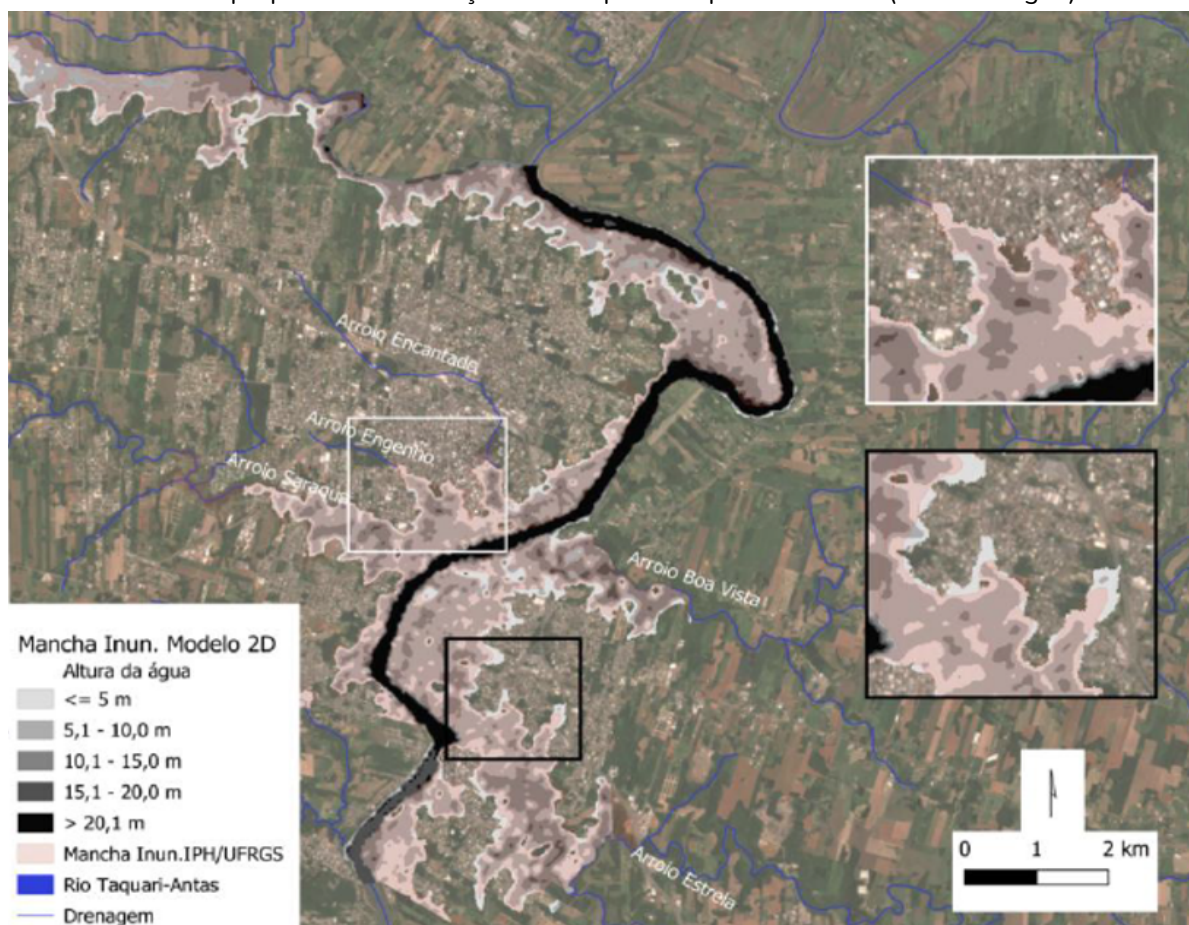


**FONTE:** García et al. (2022)



Para a definição das áreas propensas a inundação nas áreas urbanas de Estrela e Lajeado no Rio Grande do Sul (Figura 2), Scoti et al. (2024) utilizaram como MDE uma imagem do Alos/Palsar, os dados de uso e cobertura da terra forma extraídos do MAPBIOMAS (Souza et al., 2020) e as vazões do trabalho de Oliveira et al. (2018). Após a obtenção da área propensa a inundação os autores identificaram as categorias de estabelecimentos e domicílios expostos. A validação da modelagem ocorreu por meio e trabalhos de campo e comparação com uma mancha de inundação disponibilizada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS).

**FIGURA 4:** Modelagem hidráulica obtida com o IBER. Estão representadas na imagem as áreas propensas a inundação e as respectivas profundidades (altura da água).



**FONTE:** Scoti et al. (2024)

No norte de Portugal, na cidade de Amarante, Martins; Gomes e Santos (2018), utilizaram o IBER para delimitar as áreas inundáveis. Como base de dados os autores um modelo digital de terreno obtido com a interpolação de curvas de nível e pontos cotados na escala de 1:10.000, os dados de *Manning* tiveram como fonte a Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental referente ao ano de 2010 (1:25.000), dados hidrológicos foram calculados a partir da precipitação registrada no período 1964 até 1994. Ainda, foi considerado na modelagem os efeitos ocasionados por



uma ponte com três arcos. Como principal resultado, os autores identificaram dois arruamentos como os mais expostos aos eventos hidrológicos (Rua 31 de Janeiro e Largo Conselheiro Antônio Cândido) A validação ocorreu através dos relatos dos moradores e das marcas deixadas por eventos passados.

Outra aplicação do *software* IBER em língua portuguesa, foi executada por Cabral et al. (2024), para a modelagem os autores utilizaram os dados de vazão obtidos pelas UHE Barra do Braúna no período de 06 e 18 de janeiro de 2022 (período com registro de evento hidrológico que causou danos na cidade de Santo Antônio de Pádua/RJ), os autores utilizaram 3 distintos tipos de *Manning* e os dados topográficos foram disponibilizados pelo Plano de Ação de Emergências da prefeitura Municipal de Santo Antônio de Pádua. A validação ocorreu por meio da similaridade da elevação de nível apresentada pelo IBER e pela estação fluviométrica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *software* IBER é uma importante ferramenta para simulação do comportamento de rios e estuários. Mostra-se acessível e, relativamente, de fácil operação com a possibilidade do uso de informações disponíveis em base de dados globais, como é o caso de produtos de radar como Alos/Palsar e SRTM. A validação dos resultados pode ser baseada em imagens de satélite, dados coletados em campo, comparação entre modelagens.

Pode se dizer que as limitações, para utilização do IBER, podem estar relacionadas a obtenção de dados hidrológicos para algumas áreas ou então a avaliação em escala de grande detalhe. Existem alternativas para essas limitações, por exemplo dados de vazão podem ser obtidos por meio de morfometria e dados pluviométricos, enquanto, modelos digitais de elevação e ortomosaicos podem ser capturados com o uso de Drones.

Conforme os resultados obtidos, observa-se que a maioria dos trabalhos se encontram em língua estrangeira, sendo que apenas 4 foram publicados em português. Isso demonstra que o *software* tem um grande potencial de aplicação, principalmente, no diagnóstico de áreas propensas aos processos hidrológicos e na magnitude associada a profundidade e velocidade do excedente fluvial.

Por fim, destaca-se que os artigos citados nessa pesquisa não representam a totalidade das publicações sobre o IBER, representam o retorno das buscas em duas plataformas. Para pessoas que tenham interesse em utilizar o IBER recomenda-se que iniciem acessando a página oficial do *software*.



## REFERÊNCIAS

- AHAMADI, S. H.; TRIATMODJO, B.; BENAZIR. Analysis of Gongseng Dam Break-Induced Flood in East Java, Indonesia Through 2D Iber Software. **Journal of the Civil Engineering Forum**, 10(1):59-72 January 2024.
- AMAR, I; BENGAMRA, S.; CHOURAK, M; JILALI, A; AFIF, H; BOUISS, H; SABAR, H; RAMDANI, S. 2D modeling and flood hazard mapping of the El-Hai and Msakhska rivers in the city of Ain Beni Mathar (NE Morocco). **Modeling Earth Systems and Environment**, 11:263, 2025.
- AZOUR, H.; MANSOUN, M.; SABAR, H.; EL YOUSFI, Y.; AMMAR, I.; GUEDDARI, H.; BENMAKHLOUF, M.; MABROUKI, J. Flood hazard modeling using gis and IBER tools: an integrated approach. **Water Conservation & Management**, 9(2), p. 346 – 355, 2025.
- BALASCH, J. C.; CALVET, J.; TUSET, J. Reconstrucción post-evento del flash-flood del 1 de septiembre de 2021 en Les Cases d'Alcanar (Tarragona). **Ingeniería del Agua**, v. 27, n. 1, 2023.
- BLADÉ, E.; CEA, L.; CORESTEIN, G.; ESCOLANO, E.; PUERTAS, J.; VÁZQUEZ-CENDÓN, E.; DOLZ, J.; COLL, A. Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. **Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería**, v. 30, n. 1, p. 1–10, 2014.
- BRIGIDO-MORALES, J. G.; CARRILLO-GARCIA, M.; PRADO-HERNÁNDEZ, J. V.; FLORES-VELÁSQUEZ, J. Modelación hidráulica de tres aforadores para mínima sedimentación. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, e3317, 2024.
- CABRAL, R. S.; ZANATA, I. M.; SOUSA, R. S.; TELLES, W. R. Uso do software IBER para modelagem e simulação de evento de inundação em Santo Antônio de Pádua – RJ. **Cuadernos de Educación y desarrollo**, v.16, n. 11, p. 01-24, 2024.
- COTES GARCÍA, D. A.; PABÓN RUÍZ, D.; OSPINO MONSALVE, E. Y.; MESTRE IZQUIERDO, N. J. (2024). Modelación de la calidad del agua del río Cesar del 2020 mediante el software Iber. **Documentos de Trabajo Areandina**, Fundación Universitaria del Área Andina, 2, 2024. <https://doi.org/10.33132/26654644.2449>
- DJAFRI, S. A.; CHERHABIL, S.; HAFNAOUI, M. A.; MADI, M. Flood modeling using HEC-RAS 2D and IBER 2D: a comparative study. **Water Supply**, v. 24, n. 9, 2024.
- FERNÁNDEZ-NÓVOA, D.; RAMOS, A. M.; GONZÁLEZ-CAO, J.; GARCÍA-FEAL, O.; CATITA, C.; GÓMEZ-GESTEIRA, M.; TRIGO, R. M. How to mitigate flood events similar to the 1979 catastrophic floods in the lower Tagus. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 24, n. 2, p. 609–630, 2024.
- GARCÍA, J. V. G.; PANTA, J. E. R.; REYNOSO, D. S. F.; AYALA, C. R.; HIDALGO, R. R.; GARCÍA, F. G. G.; SÁNCHEZ, M. E. R. Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v.13(71), may-junio, 2022.
- GARCÍA-ALÉN, G.; GONZÁLES-CAO, J.; FERNÁNDEZ-NÓVOA, D.; GOMEZ-GESTEIRA, M.; CEA, L.; PUERTAS, J. Analysis of two sources of variability of basin outflow hydrographs computed with the 2D shallow water model Iber: Digital Terrain Model and unstructured mesh size. **Journal of Hydrology**, 612, 128182, 2022.
- GARCÍA-FEAL, O.; GONZÁLES-CAO, J.; GÓMEZ-GESTEIRA, M.; CEA, L.; DOMÍNGUEZ, J. M.; FORMELLA, A. An Accelerated Tool for Flood Modelling Based on Iber. **Water**, v.10, 1459, 2018.
- GONZÁLES-CAO, J.; FERNÁNDEZ-NÓVOA, D.; GARCÍA-FEAL, O.; FIGUEIRA, J.; VAQUERO, J. M.; TRIGO, R.; GÓMEZ-GESTEIRA, M. The Rivillas flood of 5–6 November 1997 (Badajoz, Spain) revisited: An approach based on Iber+ modelling. **Journal of Hydrology**, 610, 2022.
- LARRAÑAGA, A.; CARRERO, L.; FERNÁNDEZ, J. A. Estudio hidráulico bidimensional para el proyecto de rehabilitación del meandro “Los Garridos” en el río Jarama (Algete, Madrid). **Cuad. Soc. Esp. Cienc. For**, v.47 (1), p. 77 – 94, 2021.
- MARTINS, M. M. C.; GOMES, A. A. T.; SANTOS, P. P. Delimitação de áreas inundáveis no centro urbano de Amarante, norte de Portugal, utilizando o software IBER. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, p. 185 – 200, 2019.
- PINOS, J.; TIMBE, L. Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins. **Water Science and Engineering**, v. 12, n. 1. p. 11 – 18, 2019.



QUIJANO, M. Á. S.; GONZÁLEZ, C. M.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, A. Modelación hidrológica de la rotura de presa utilizando el software IBER. **Revista NTHE**, v. 24, p. 34–40, 2018.

RINCÓN, J.; PÉREZ, M.; DELFIN, G.; FREITEZ, C.; MARTINEZ, F. Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes. **Revista Gaceta Técnica**, v. 17(1), p. 9 – 28, 2017.

SANZ-RAMOS, M.; SAÑUDO, E.; LÓPEZ-GÓMEZ, D.; GARCÍA-FEAL, O.; BLADÉ, E.; CEA, L. Evolución de la modelización numérica bidimensional del flujo en lámina libre a través del software Iber. **Ingeniería del Agua**, 29 (2), p. 114 - 131, 2025.7

SAÑUDO, E.; CEA, L.; PUERTAS, J. Modelling Pluvial Flooding in Urban Areas Coupling the Models Iber and SWMM. **Water**, v. 12, n. 12, 2020.

SCCOTI, A. A. V.; BATEIRA, C. V. M.; ROBAINA, L. E. S.; PEREIRA, S.; TRENTIN, R. Definição das áreas propensas à inundação com uso de modelo hidráulico 2D do IBER: caso de estudo de Estrela e Lajeado/RS – Brasil. **Finisterra**, LIX(127), e35402, 2024.

SILVA, P. V. R. M.; CARDOSO JUNIOR, R. A. F.; NORONHA, G. C. Mapeamento e análise de risco de inundação da bacia do rio Paraíba/AL: estudo de caso. **Sistemas & Gestão**, v.11, p 431 – 443, 2016.

ZANATA, I. M.; OLIVEIRA, V. P. S.; TELLES, W. R. O uso do software Iber para simulação de micro-habitats nos rios Pomba e Paraíba do Sul. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 8, p. 7417 – 7442, 2023.



# EFEITOS DO FOGO NA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO EM FLORESTA DEGRADADA: SUBSÍDIOS PARA ESTUDOS DE DESLIZAMENTOS TRANSLACIONAIS, NOVA FRIBURGO-RJ

Letícia Bolsas <sup>1</sup>  
Ana Luiza Coelho Netto <sup>2</sup>  
Vitória de Brito Pereira <sup>3</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Curva Característica, Queimadas, Conteúdo de Água, Potencial Matricial.

## RESUMO

O fogo é um vetor transformador da cobertura vegetal e atua como um dos principais agentes de degradação dos remanescentes florestais secundários da Mata Atlântica. No evento catastrófico de 2011, ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro, a maioria dos deslizamentos ocorreu em encostas cobertas por vegetação herbácea (44,5%), herbácea-arbustiva (27,8%) e florestas degradadas (26,7%) (n=382) – formações vegetais resultantes de incêndios recorrentes, onde são registrados em média 400 ocorrências por ano no município de Nova Friburgo. Além das alterações na cobertura vegetal, o fogo também pode modificar diversas propriedades físico-químicas dos solos, afetando o seu comportamento hidrológico e mecânico e, conseqüentemente, a estabilidade das encostas. Evidências paleoambientais no município de Nova Friburgo corroboram a relação entre a instabilidade das encostas e o fogo, indicando a ocorrência de deslizamentos translacionais rasos precedidos de incêndios durante o Holoceno. Esse trabalho tem como objetivo investigar os efeitos do fogo na curva de retenção de água (ou curva característica) de solo coberto por floresta degradada, parâmetro essencial para compreender o comportamento da água no solo, contribuindo, assim, para o aprimoramento da previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos. O estudo foi conduzido em uma encosta coberta por floresta degradada de borda localizadas no município de Nova Friburgo. A área foi sujeita a uma queimada controlada em outubro de 2024 em uma parcela experimental de 10 x 15 metros. A análise da curva característica do solo foi realizada a partir da correlação entre registros de sensores de umidade (Onset) e sucção (Watermark) instalados in situ nas profundidades de 10 - 20, 40 - 50 e 90 - 100 cm e amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0 - 5, 5 - 10, 15 - 20, 45 - 50, 95 - 100 e 145 - 150 cm, utilizando o método do papel filtro. As amostras foram obtidas antes da queima e um mês após o experimento. Os resultados do monitoramento in situ na área de floresta

- <sup>1</sup> Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, [leticiabufjr@gmail.com](mailto:leticiabufjr@gmail.com)
- <sup>2</sup> Professora Titular pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, [ananetto@acd.ufrj.br](mailto:ananetto@acd.ufrj.br)
- <sup>3</sup> Graduanda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, [vitoriadb.101@gmail.com](mailto:vitoriadb.101@gmail.com)



degradada mostram uma diferença no comportamento da curva característica entre a área queimada e a não queimada. Após 4 meses do experimento, a área queimada na profundidade de 10 - 20 cm, apresentou valores menores de conteúdo volumétrico na zona de saturação da curva ( $0,31 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) em relação à área controle ( $0,42 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). No entanto, esse padrão se inverte nas profundidades de 40 - 50, onde o conteúdo volumétrico máximo é maior na área queimada ( $0,53 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) do que na área controle ( $0,33 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). Os resultados pelo método do papel filtro reproduzem esse mesmo comportamento.

## INTRODUÇÃO

O fogo é um vetor transformador da cobertura vegetal que esteve presente no domínio da Mata Atlântica, acompanhando os ciclos de degradação intensivos associados à sucessivas práticas extrativistas e agrícolas, como a extração do Pau-Brasil, a produção de cana-de-açúcar, o ciclo cafeeiro (Dean, 1996). A partir do século XX, a intensa explosão demográfica intensificou ainda mais a pressão sobre os remanescentes florestais, resultando em alterações expressivas na cobertura vegetal. Como consequência, a Mata Atlântica foi reduzida a pequenos fragmentos florestais que, atualmente, representam apenas 13% de sua cobertura original (Fundação Sos Mata Atlântica e Inpe, 2021), sendo que 80% desses fragmentos florestais menores são do que  $0,5 \text{ km}^2$  (Ribeiro et al., 2009).

No município de Nova Friburgo, na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, a intensa remoção da cobertura florestal teve início no século XIX, com os imigrantes europeus utilizando o fogo como técnica agrícola e instrumento de manejo das matas (Araújo e Mayer, 2003). Estudos mais recentes revelam que os incêndios ainda são fenômenos recorrentes nesse município, chegando a ultrapassar 400 ocorrências por ano (Bolsas et al. 2019). Tendo em vista o uso histórico e recorrente no município, o fogo atua como o principal agente de degradação da vegetação e retardamento da sucessão ecológica dessas coberturas.

Além das mudanças provocadas na vegetação, o fogo pode causar alterações em diversas propriedades físico-químicas dos solos, incluindo o teor de matéria orgânica (González-Pérez et al., 2004), textura (Ulery e Graham, 1993; Badía e Martí, 2003), densidade aparente (Andreu et al., 2001), estabilidade dos agregados do solo (Giovannini e Lucchesi, 1983; Thomaz, 2021), além de provocar efeitos hidrofóbicos (Debano, 1981) e mudanças na condutividade hidráulica (Fox et al., 2007; Fachin et al., 2016). Apesar dos efeitos do fogo nas propriedades físico-químicas dos solos serem bastante investigados



em ecossistemas temperados, estudos sobre os efeitos do fogo em ecossistemas tropicais ainda são escassos e concentrados em áreas de uso agrícola, sendo raros os realizados no domínio da floresta atlântica (Juárez-Orozco et al., 2017; Bertolino et al., 2022).

Essas alterações promovidas pelo fogo, sejam diretas ou indiretas, por sua vez, podem causar mudanças na dinâmica hidromecânica dos solos e estabilidade de encostas (Onda et al., 2008). Alterações na condutividade hidráulica (Fox et al., 2007; Fachin et al., 2016), infiltração, escoamento superficial, umidade do solo, perda de coesão do solo e repelência dos solos à água também podem ser provocados pelo fogo (Shakesby e Doerr, 2006). A deflagração de fluxos de detritos após incêndios devido ao aumento do escoamento superficial é bem conhecida na literatura (Johnson, 1984; Wells, 1987; Cannon e Degraff, 2009) e deslizamentos do tipo translacional raso também são documentados após incêndios florestais (Meyer et al., 2001; Cannon e Gartner, 2005; Rengers et al., 2020). Contudo, conforme Parise e Cannon (2012), ainda é pouco consistente atribuir a deflagração de deslizamentos translacionais rasos em áreas queimadas ao efeito do fogo, pois há poucos dados na literatura que consideram as mudanças efetivas propagadas pelas chamas.

No desastre socioambiental que atingiu a Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro em janeiro de 2011, milhares de deslizamentos foram desencadeados por chuvas extremas (Coelho Netto et al., 2013). Um estudo detalhado realizado por Silva (no prelo) na bacia do Córrego d'Antas (53 km<sup>2</sup>) identificou 382 deslizamentos, os quais ocorreram predominantemente em encostas cobertas por gramíneas (44,5%), vegetação herbáceo-arbustiva (25%) e floresta degradada (27,7%) – formações vegetais altamente impactadas pelo uso recorrente do fogo ao longo do tempo.

Frente ao exposto acima, estudar a dinâmica dos processos hidrológicos em encostas com coberturas resultantes da ação de fogo recorrente é fundamental para melhor compreender os efeitos do fogo na interface vegetação-solo-água e suas implicações na estabilidade de encostas. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo investigar se o fogo pode causar alterações na curva característica do solo, que descreve a relação entre o teor de umidade e sua sucção, parâmetro essencial para compreender o comportamento da água no solo, contribuindo para o aprimoramento da previsão de áreas suscetíveis a deslizamentos.

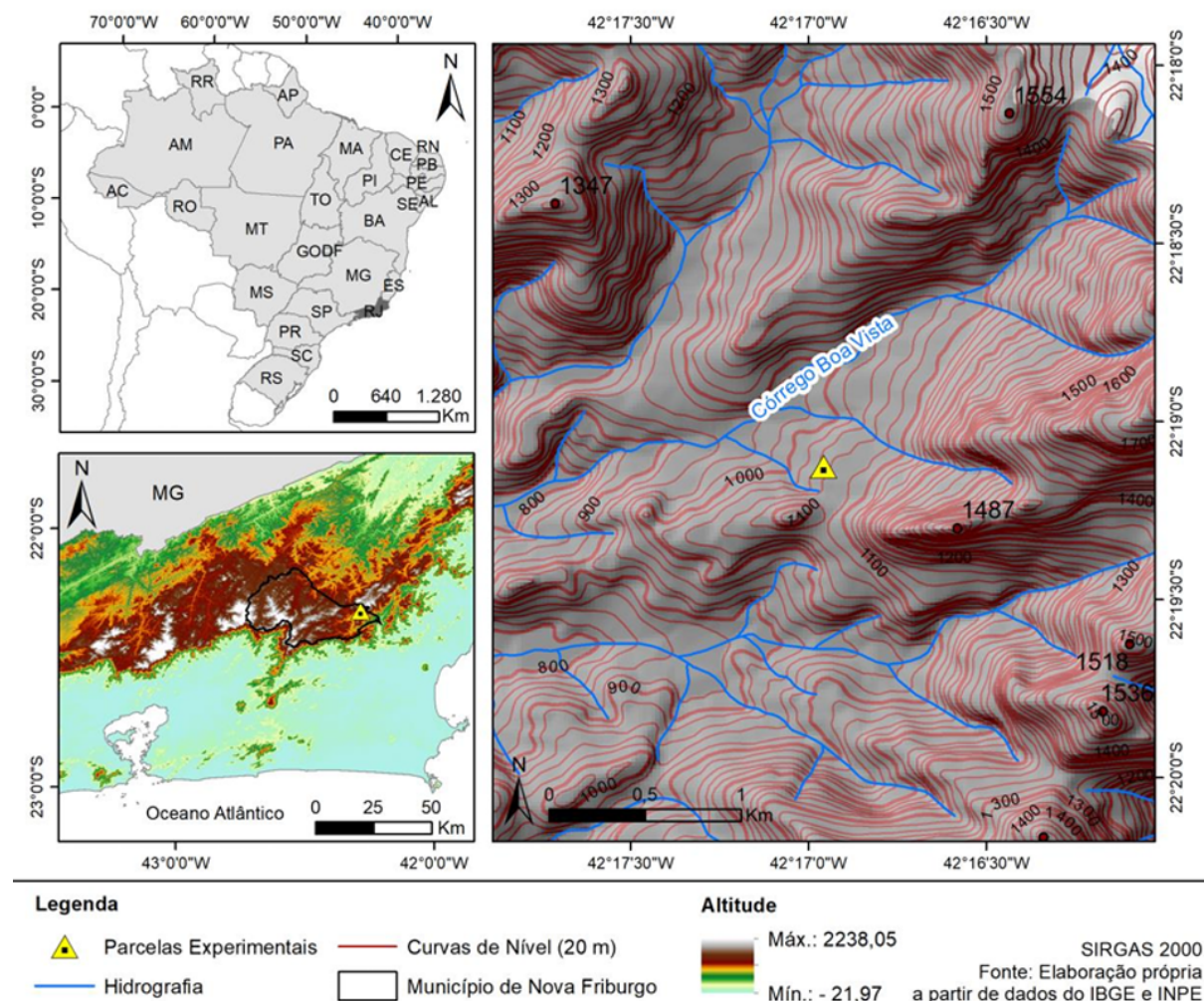


## MATERIAIS E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Nova Friburgo, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, situada no domínio montanhoso da Serra do Mar (Figura 1). A área de estudo se encontra dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental Estadual de Macaé de Cima (APAMC). O local escolhido ( $22^{\circ}19'7.16''S$ ;  $42^{\circ}16'58.10''O$ ) está inserido na Zona de Uso Agropecuário (ZUAP) de número 6.

**FIGURA 1.** Localização da área de estudo demonstrando sua posição na Serra do Mar do Estado do Rio de Janeiro e suas características topográficas.



Para investigação dos efeitos do fogo no comportamento hidrológico dos solos, foi delimitada uma parcela experimental de aproximadamente 180 m<sup>2</sup> (12x15) em um fragmento florestal degradado de borda, sujeito à manejo agrícola há 30 anos segundo informações locais. A delimitação foi realizada de forma longitudinal, acompanhando a curvatura do relevo e os fluxos d'água. A encosta apresenta uma declividade média em torno de 20°, topografia convexa e orientação oeste.



## PLANO DE QUEIMA

Para preparar o terreno para queimada as copas dos indivíduos arbóreos foram cortados para evitar a propagação das chamas pelas copas (Figura 2a). O material mais fino cortado das copas das árvores cortadas, como galhos e folhas, foi utilizado como combustível para a queima (Figura 2b). Essa preparação foi realizada cerca de 2 meses antes da queima para o combustível perder umidade. Um aceiro de 1 metro foi feito no dia da queimada para impedir que o fogo ultrapasse os limites do experimento (Figura 2c). A queima controlada foi realizada no dia 7 de outubro de 2024 (Figura 2d e 2e).

**FIGURA 2.** Procedimentos operacionais para a realização da queimada controlada: a) preparação do terreno antes da queimada controlada com o corte da copa dos indivíduos arbóreos, b) disposição do facho<sup>4</sup> dentro da parcela, c) realização do aceiro no dia da queimada, d) ignição do fogo e e) propagação do fogo na parcela de maneira não espacialmente uniforme.



<sup>4</sup> “Facho” é o termo utilizado pelos agricultores locais para se referir ao material vegetal reunido e deixado para secar, com o objetivo de servir como combustível durante a queimada controlada do terreno.



## **CURVA CARACTERÍSTICA DO SOLO**

A curva característica do solo foi determinada por dois métodos: (i) ensaio em laboratório pelo método do papel filtro, utilizando amostras indeformadas de solo e (ii) dados de monitoramento in situ da sucção e do conteúdo volumétrico de água no solo.

### *Papel filtro*

Para o ensaio em laboratório, foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup> nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 15 – 20, 45 – 50, 95 – 100 e 145 – 150 cm. As coletas foram realizadas no interior da parcela queimada, um mês após o fogo, e em uma área–controle adjacente, situada próxima à área queimada, com objetivo de comparação.

O método do papel filtro para medir sucção de um solo consiste em posicionar um papel filtro de características conhecidas em um ambiente hermeticamente fechado, juntamente com a amostra de solo a ser ensaiado. O contato entre o papel filtro e o solo permite a transferência da água presente no solo úmido para o papel filtro, até que seja alcançado o estado de equilíbrio hidráulico entre ambos. Nesse estado, a sucção do solo e do papel filtro torna-se igual, embora os teores de umidade gravimétrica do solo e do papel filtro sejam distintos. Desse modo, a sucção do solo é determinada de forma indireta, com base no teor de umidade gravimétrica do papel filtro, utilizando-se uma curva de calibração previamente estabelecida para o tipo específico de papel empregado.

Inicialmente, as amostras indeformadas foram deixadas secar ao ar por uma semana, de modo ao obter a curva de umedecimento. Em seguida, as amostras foram umedecidas com diferentes volumes de água (5, 10, 15, 20, 25 e 30 mL), aplicados com o auxílio de uma pipeta automática graduada, com o objetivo de obter uma curva representativa com múltiplos pontos. Duas amostras foram mantidas secas (sem adição de água), visando representar os maiores valores de sucção, enquanto outras duas foram totalmente saturadas por capilaridade, para simular condições de sucção próximas a 0 kPa. Após o umedecimento, aguardou-se cerca de uma hora para que a água infiltrasse adequadamente no solo.

No mesmo dia, foram alocados três papéis filtro em cada lado da amostra indeformada, totalizando seis papéis por amostra. O papel filtro utilizado foi o Whatman nº42. Em cada lado, utilizou-se dois papéis de diâmetro maior nas extremidades e um de menor diâmetro ao centro, este último sem contato direto com o solo, sendo o papel destinado à pesagem. Após a montagem, as amostras foram envolvidas com filme plástico, papel alumínio e fita crepe, sucessivamente, e então acondicionadas na câmara úmida por um período de 14 dias.



Ao final desse período, as amostras foram abertas e os papéis filtros centrais foram rapidamente acondicionados em sacos zip-lock, para serem imediatamente pesados em balança de precisão (0,0001 g), a fim de evitar perdas por evaporação. Em seguida, os papéis filtros úmidos foram secos em estufa a 50 °C até atingirem massa constante e novamente pesados para obter a sua umidade gravimétrica. As amostras indeformadas também são pesadas úmidas e secas a 105°C até atingir massa constante.

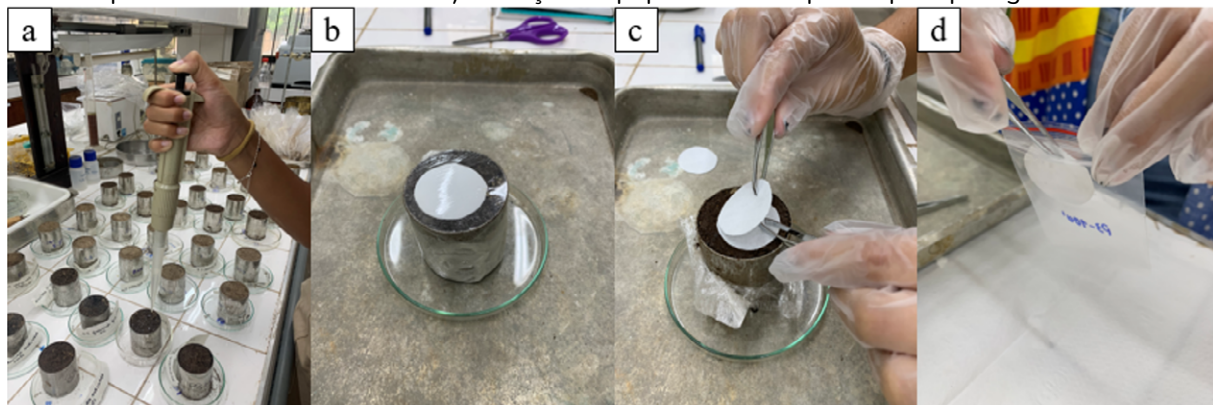
Por fim, o valor da sucção do solo para o teor de água específico na amostra foi determinado utilizando a curva de calibração recomendado por Chandler et al. (1992) (Equações 1 e 2):

$$\Psi = 10^{(6.05 - 2.48 \log w_p)} \quad \text{for } w_p > 47\% \quad (1)$$

$$\Psi = 10^{(4.84 - 0.0622 \log w_p)} \quad \text{for } w_p \leq 47\% \quad (2)$$

onde  $\Psi$  (kPa) é a sucção  $w_p$  (%) é o teor de água do papel de filtro.

**FIGURA 3.** Procedimento metodológico para o ensaio da curva característica pelo método do papel filtro: a) umedecimento das amostras indeformadas de solo com diferentes volumes de água, b) invólucro da amostra com o plástico filme, c) abertura da amostra e coleta do papel filtro após o período de equilíbrio na câmara úmida e d) alocação do papel no saco zip-lock para pesagem imediata.



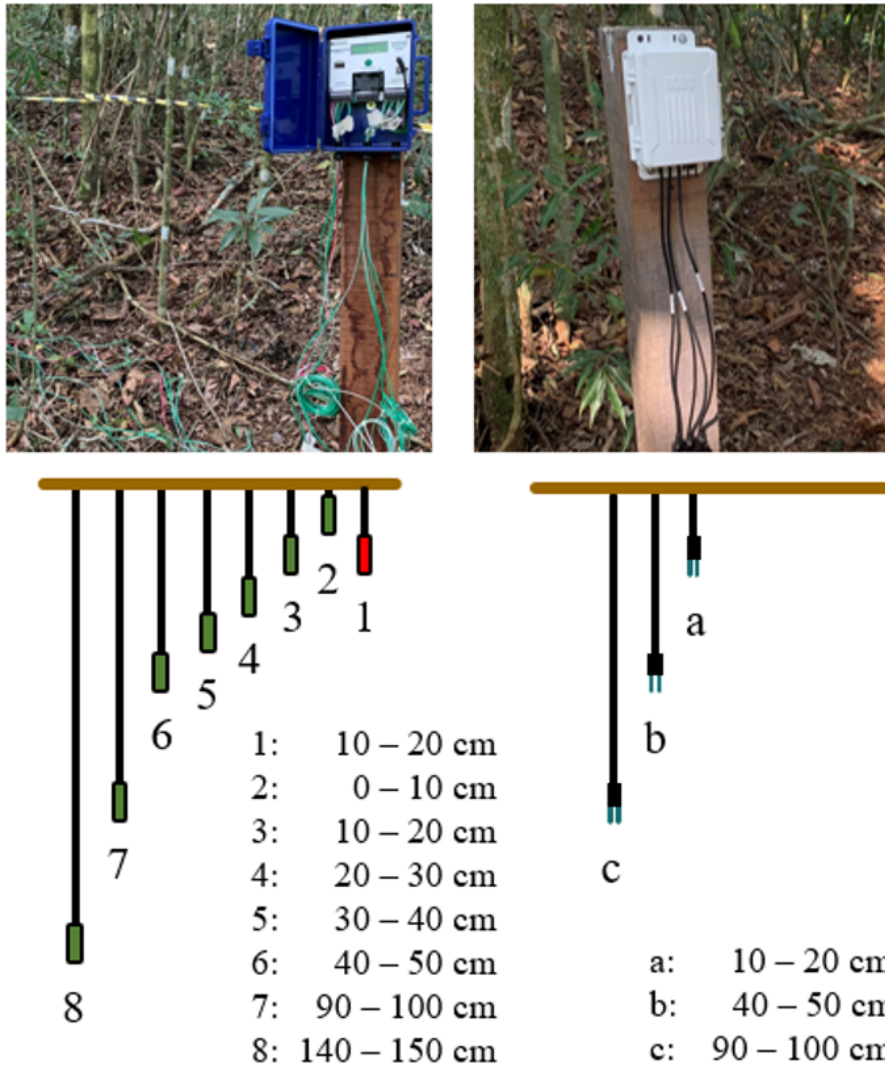
### *Monitoramento in situ*

Para a obtenção da curva característica in situ, foram utilizados sensores de sucção (Watermark, Irrometer) e sensores de umidade (HOBO, Onset). Os sensores de sucção operam pelo princípio de resistência elétrica, com intervalo de medição entre 0 a e 239 kPa, sendo constituídos por um par de eletrodos envolvidos por uma fina camada de gesso, que permite a troca de água entre o solo e o sensor. Por outro lado, os sensores de umidade do solo funcionam com base na constante dielétrica do solo, com um intervalo de medição entre 0 a 0.550 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de conteúdo volumétrico de água. Os sensores de sucção foram instalados nas profundidades de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40, 40 – 50, 90 – 100 e 140 – 150 cm, enquanto que os sensores de umidade foram instalados



nas profundidades de 10 – 20, 40 – 50 e 90 – 100 cm (Figura 4). Ambos os sensores foram acoplados a um registrador de dados, programados para coletar os dados em intervalos de 15 minutos. Essa estação de monitoramento — composta pelos sensores e pelo datalogger — foi instalada tanto na área queimada (FDQ) quanto na área–controle (FDC), totalizando duas estações de sucção e uma de umidade para cada área, possibilitando a comparação entre as duas condições de solo.

**FIGURA 4.** Disposição das profundidades dos sensores de sucção (1 a 8) e umidade do solo (a, b, c) na área–queimada e área–controle. Além dos sensores de sucção também foi instalado um sensor de temperatura na profundidade de 10 – 20 cm para melhor acurácia das leituras.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelo método do papel filtro revelaram curvas características com comportamento típico de solos arenosos, evidenciado pela rápida redução do conteúdo volumétrico de água à medida que a sucção aumenta. Todas as profundidades analisadas apresentaram comportamento bimodal, indicando uma distribuição heterogênea de poros no solo — com presença de macroporos e microporos bem definidos.

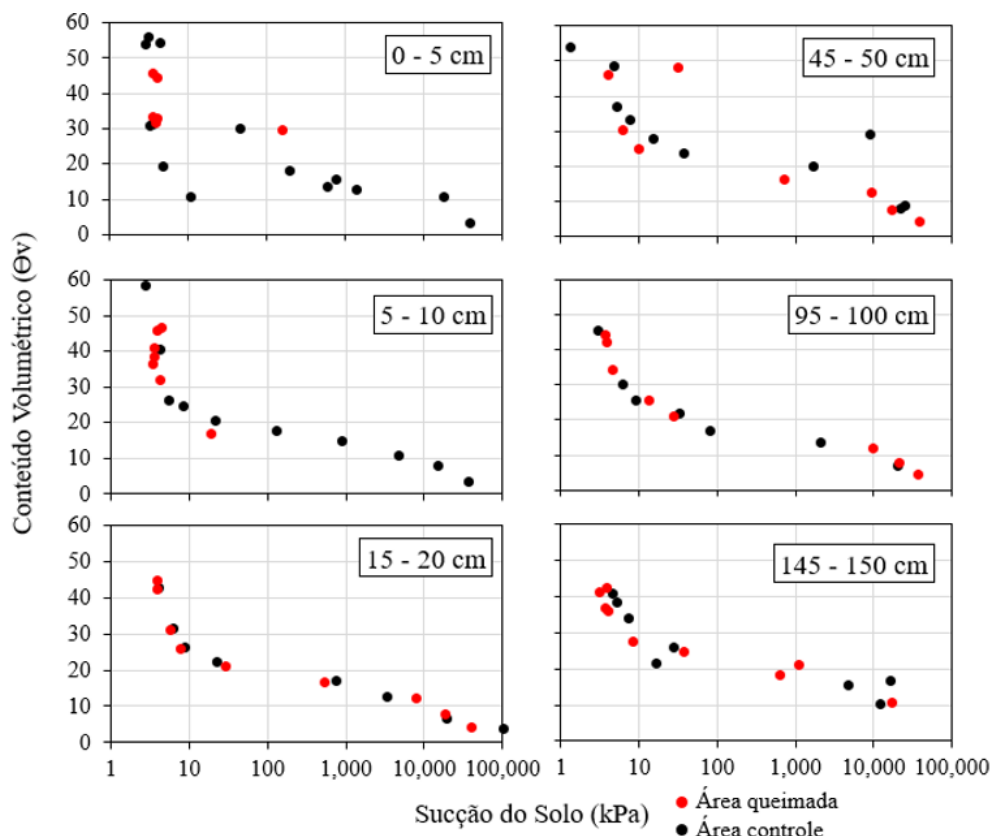


No primeiro trecho das curvas, a dessaturação inicial reflete a perda de água dos poros maiores, associados à macroestrutura do solo. Isso ocorre porque, mesmo em solos com frações finas, as partículas podem estar agregadas em estruturas semelhantes a grãos de areia, facilitando a drenagem da água (Feuerharmel, 2003).

Na zona de saturação, os conteúdos volumétricos de água variaram conforme a profundidade. Os maiores valores foram observados nas camadas mais superficiais da área-controle: acima de  $50 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  entre 0–5 cm e 5–10 cm. No entanto, a partir de 15 cm de profundidade em ambas as áreas, os valores tendem a estabilizar entre 40 e  $50 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , indicando menor porosidade ou compactação progressiva com a profundidade.

Após o fogo, os dados demonstraram mudanças nas curvas características nas duas primeiras camadas do solo (0–5 cm e 5–10 cm) da área queimada. Observou-se uma redução expressiva nos conteúdos volumétricos máximos: de  $56,2 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  para  $44,6 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  na camada de 0–5 cm e de  $58,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  para  $46,9 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  na camada de 5–10 cm, um mês após o evento. Esses resultados sugerem que o fogo pode ter afetado diretamente a estrutura porosa superficial do solo, reduzindo sua capacidade de retenção de água.

**FIGURA 5.** Curva característica do solo na área queimada (pontos vermelhos) e área controle (pontos pretos) nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10, 15 – 20, 45 – 50, 95 – 100 e 145 – 150 cm a partir do método do papel filtro.



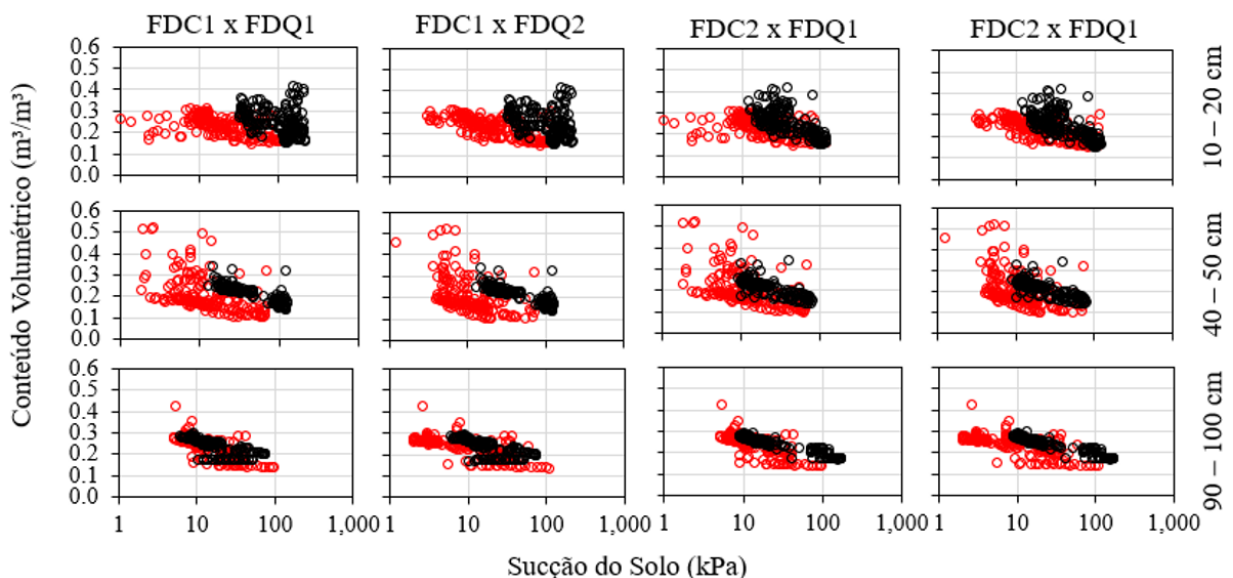


As curvas obtidas por meio do monitoramento in situ estão limitadas a valores próximos a 200 kPa, em função do limite de leitura dos sensores utilizados (Figura 6). Dessa forma, não é possível capturar o comportamento bimodal observado nos ensaios com o método do papel filtro.

Ao comparar a área queimada com a área-controle, observa-se que os valores de sucção são mais elevados na área-controle nas profundidades de 10–20 cm e 40–50 cm, indicando uma menor disponibilidade hídrica nesse setor. Além disso, na camada superficial (10–20 cm), os valores máximos de conteúdo volumétrico de água no solo são inferiores na área queimada em relação à área-controle, o que também foi evidenciado no método do papel filtro. Esse comportamento sugere uma tendência à maior aeração do solo na área queimada, possivelmente em função de alterações estruturais pós-fogo.

Por outro lado, na profundidade de 40–50 cm, esse padrão se inverte: os maiores valores de umidade ocorrem na área queimada, indicando possíveis mudanças nas dinâmicas de redistribuição ou retenção hídrica após o distúrbio. Já na profundidade de 90–100 cm, as curvas apresentam comportamentos bastante similares entre as duas áreas, sugerindo que os efeitos do fogo são menos expressivos em camadas mais profundas.

**FIGURA 6.** Curva característica do solo na área queimada (pontos vermelhos) e área controle (pontos pretos) nas profundidades de 10 – 20, 40 – 50 e 90 – 100 cm a partir dos dados de monitoramento in situ. FDC = floresta degradada controle, FDQ = floresta degradada queimada, os números após as siglas indicam qual a estação comparada.





## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos tanto por meio do método do papel filtro quanto do monitoramento in situ evidenciam alterações nas propriedades hidráulicas do solo em decorrência do fogo, especialmente nas camadas mais superficiais. As curvas características revelaram um comportamento típico de solos arenosos, com dessaturação rápida e distribuição bimodal de poros, e destacaram a sensibilidade da estrutura porosa à ação do fogo. A redução dos conteúdos volumétricos máximos nas duas primeiras camadas da área queimada indica uma diminuição na capacidade de retenção de água, possivelmente associada à degradação da macroestrutura do solo. As semelhanças nas curvas a 90–100 cm sugerem que os efeitos do fogo não se propagam com intensidade às camadas mais profundas.

Como próximos passos, recomenda-se a separação das curvas de molhamento e secagem a partir dos dados do monitoramento in situ, a fim de identificar possíveis histereses no comportamento hidráulico do solo e possibilitar uma comparação mais adequada com os resultados obtidos pelo método do papel filtro, que representa exclusivamente a curva de molhamento. Além disso, a distinção entre períodos úmidos e secos nos dados de monitoramento pode contribuir para uma análise mais precisa das alterações nas curvas características, especialmente na área afetada pelo fogo, permitindo compreender com maior profundidade as mudanças sazonais na retenção e disponibilidade hídrica.



## *Agradecimentos:*

**O**s autores agradecem à Janete Mafort Leal, Delair Mafort Leal, Lieber Mafort Leal e Adilson Bellinger pelo auxílio na condução da queimada experimental e aos guardas-parques da APA Estadual Macaé de Cima Gabriel Ide e Sabrina Cristina pelo acompanhamento do experimento. Agradecemos aos alunos de graduação Thalyta dos Santos Chiste e Lorenzo Galizia Kaulino pelo auxílio na instalação dos equipamentos e coleta das amostras em campo. Estendemos nossos agradecimentos ao Mário Nacinovic pelo acompanhamento do ensaio em laboratório. Por fim, agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro através do projeto concedido pela Chamada CNPq/MCTI Nº 15/2023 - Eventos Meteorológicos Extremos: Prevenção de Desastres Naturais e Minimização de Danos - Processo: 447322/2023-0, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela concessão de bolsa de doutorado nota 10, e ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) pela Autorização de Pesquisa Científica em Unidade de Conservação nº064/2024.



## REFERÊNCIAS

- ANDREU, V.; IMERSON, A. C.; RUBIO, J. L. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena*, v. 44, p. 69–84, 2001.
- ARAÚJO, J. R.; MAYER, J. M. Teia Serrana: formação histórica de Nova Friburgo. Editora do Livro Técnico, 2003. 318 p. BADÍA D.; MARTÍ, C. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. *Arid Land Res Manage*, v. 17, p. 23–41, 2003.
- BERTOLINO, A. V. F. A.; MATTOS, B. S.; BERTOLINO, L. C. A influência do fogo nas propriedades de um solo sob manejo de agricultura de corte e queima em ambiente serrano no bioma de Mata Atlântica. *Sociedade & Natureza*, v. 34, p. 1-14, 2022.
- BOLSAS, L.; FREITAS, L. E.; COELHO NETTO, A. L. Análise espaço-temporal dos incêndios em Nova Friburgo: subsídios ao estudo da suscetibilidade de terreno frente aos deslizamentos. XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2019.
- CANNON, S. H.; DEGRAFF, J. The Increasing Wildfire and Post-Fire Debris-Flow Threat in Western USA, and Implications for Consequences of Climate Change. In: SASS, K.; CANUTI, P. *Landslides: Disaster Risk Reduction*, p. 177-190, 2009.
- CANNON, S. H.; GARTNER, J. E. Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. In: JAKOB, M.; HUNGR, O. *Debris-flow hazards and related phenomena*. Praxis, p. 363–385, 2005.
- CERTINI, G. J. O. Effects of Fire on Properties of Forest Soils: A Review. *Oecologia*, v. 143, p. 1–10, 2005.
- CHANDLER, R.J., CRILLY, M.S., MONTGOMERY-SMITH, G., 1992. A low cost method of assessing clay desiccation for low-rise buildings. *Proceedings of the Institute of Civil Engineering* 2, 82-89.
- COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. de S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I. dos S.; FERREIRA, D.; LIMA, P. H. M. de; SILVA, A. P. de A.; SILVA, R. P. da. January 2011: The Extreme Landslide Disaster in Brazil. In: MARGOTTINI, C.; CANUTI, P.; SASSA, K. (Org.). *Landslide Science and Practice*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, v. 6, p. 377-384, 2013.
- DEAN, W. A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira. 1996.
- DEBANO, L. F. Water repellent soils: a state-of-the-art. USDA Forest Service General Technical Report PS W-46, p. 21, 1981.
- DEBANO, L. F.; NEARY, D. G.; FFOLLIOTT, P. F. *Fire Effects on Ecosystems*. John Wiley & Sons, New York, 1998.
- FACHIN, P. A.; WOUK, T.; PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. O efeito da queimada na condutividade hidráulica do solo em agricultura de roça-de-toco. *Revista Eletrônica do Curso de Geografia - UFRJ/REJ*, n. 27, 2016.
- FEUERHARMEL, C. Aspectos do comportamento não saturado de dois solos coluvionares. 127 f. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FOX, D. M.; DARBOUX, F.; CARREGA, P. Effects of fire-induced water repellency on aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrological Processes*, v. 21, p. 2377–2384, 2007.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. 73 p.
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. Effect of fire on hydrophobic and cementing substances of soil aggregates. *Soil Science*, v. 136, p. 231–236, 1983.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; ALMENDROS, G.; KNICHER, H. The effect of fire on soil organic matter: a review. *Environment International*, v. 30, p. 855–870, 2004.
- JOHNSON, A. M. Debris flow. In: BRUNSDEN, D.; PRIOR, D. B. *Slope instability*. Wiley, New York, p. 257-361, 1984.
- JUÁREZ-OROZCO, S. M.; SIEBE, C.; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, D. Causes and Effects of Forest Fires in Tropical Rainforests: A Bibliometric Approach. *Tropical Conservation Science*, v. 10, p. 1-14, 2017.



MEYER, G. A.; PIERCE, J. L.; WOOD, S. H.; JULL, A. T. Fire, storms, and erosional events in the Idaho Batholith. *Hydrol Process*, v. 15, p. 3025–3038, 2001.

NEARY, D. G.; KLOPATEK, C. C.; DEBANO, L. F.; FFOLLIOTT, P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, v.122, p. 51-71. 1999.

ONDA, Y.; DIETRICH, W. E.; BOOKER, F. Evolution of overland flow after a severe forest fire, Point Reyes, California. *Catena*, v. 72, p. 13–20, 2008.

PARISE, M.; CANNON, S. H. Wildfire impacts on the processes that generate debris flows in burned watersheds. *Natural Hazards*, v. 61, p. 217-227. 2012.

RENGERS, F. K.; MCGUIRE, L. A.; OALDEY, N. S.; KEAN, J. W.; STALEY, D. M.; TANG, H. Landslides after wildfire: initiation, magnitude, and mobility. *Landslides*, 2020.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

SILVA, R. P. Modelagem da suscetibilidade de terreno à deflagração de escorregamentos translacionais rasos: uma abordagem geo-hidroecológica aplicada à engenharia geotécnica., 2022. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.